

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
імені О. М. БЕКЕТОВА

Л. А. НАЗАРЕНКО,
Т. В. МОЖАРОВСЬКА,
В. С. ЧЕРНЕЦЬ

СВІТЛОТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2017

УДК 628.9(075)
Н19

Автори

Назаренко Леонід Андрійович – доктор технічних наук, професор кафедри світлотехніки і джерел світла;

Можаровська Тетяна Василівна – аспірант кафедри світлотехніки і джерел світла;

Чернець Віра Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри світлотехніки і джерел світла

Рецензенти

Карась В'ячеслав Ігнатович – доктор фізико-математичних наук, професор, начальник лабораторії ХНУ «Харківський фізико-технічний інститут»;

Тимофєєв Євген Петрович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник ННЦ «Інститут метрології»

*Рекомендовано на засіданні Вченої ради ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,
протокол № 6 від 23 грудня 2016 р.*

Назаренко Л. А.

Н19 Світлотехнічні розрахунки: навч. посібник / Л. А. Назаренко, Т. В. Можаровська, В. С. Чернець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 142 с.

Розглянуто основні принципи світлотехнічних розрахунків. Зазначено результати застосування розрахунків. Викладено методи розрахунків світлотехнічних величин. Наведено основних світлотехнічних розрахунків. Описано систему координат для фотометрії. Посібник призначений для студентів як допоміжний розділ до курсу «Основи світлотехніки», який дасть змогу студентам, магістрам і аспірантам спеціальності «Світлотехніка і джерела світла» більш поглиблено вивчити математичні методи розрахунку.

УДК 628.9(075)

© Л. А. Назаренко, Т. В. Можаровська, В. С. Чернець, 2017
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ.....	6
1.1 Пряме перенесення потоку.....	7
1.2 Фотометрія як основа розрахунків.....	22
1.3 Фотометрія дальнього поля.....	23
1.4 Фотометрія ближнього поля.....	24
1.5 Відбиваючі властивості поверхонь.....	25
1.6 Перевідбиття світла.....	26
1.7 Рівняння радіаційного перенесення.....	28
1.8 Впровадження моделі потокового балансу.....	30
1.9 Трасування променів за методом Монте-Карло.....	33
1.10 Програми освітлювальної симуляції.....	34
2 РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ.....	34
2.1 Коефіцієнт світлових втрат.....	35
2.2 Невідновлювальні фактори.....	36
2.3 Відновлювальні коефіцієнти.....	40
3 СТАТИСТИЧНІ ВЕЛИЧИНИ.....	48
3.1 Середні.....	48
3.2 Мінімум і максимум.....	49
3.3 Критерій оцінок.....	49
4 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ВЕЛИЧИН.....	51
4.1 Освітленість.....	51
4.2 Яскравість.....	51
4.3 Світність.....	54
5 РОЗРАХУНОК ПОХІДНИХ ВЕЛИЧИН.....	54
5.1 Контраст.....	54
5.2 Ймовірність візуального комфорту.....	54
5.3 Узагальнений показник блискості.....	58
5.4 Розрахунок середньої освітленості. Метод Люмена.....	59
5.5 Коефіцієнт використання світильника.....	67
5.6 Таблиця коефіцієнтів використання.....	67
5.7 Розрахунок середньої світності. Метод Люмена.....	79
5.8 Метод Люмена, застосований до розділених просторів.....	81

6 РОЗРАХУНОК ВЕЛИЧИН, ПОВ'ЯЗАНИХ З УСТАТКУВАННЯМ.....	83
6.1 Метод Люмена коефіцієнтів використання.....	83
6.2 Ефективність світильника.....	88
6.3 Середня яскравість світильника.....	88
6.4 Критерій розміщення світильників.....	88
7 ІНТЕРПРЕТАЦІЯ Й ОБМЕЖЕННЯ РОЗРАХОВАНИХ ВЕЛИЧИН.....	91
7.1 Освітленість.....	92
7.2 Яскравість.....	93
7.3 Контраст.....	93
7.4 Ймовірність візуального комфорту.....	94
7.5 Порівняння розрахованих і виміряних величин.....	94
8 ПРИКЛАДИ ОСНОВНИХ СВІЛОТЕХНІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ.....	95
8.1 Загальний алгоритм для світлотехнічних розрахунків.....	97
9 СИСТЕМА КООРДИНАТ ДЛЯ ФОТОМЕТРІЇ СВІТИЛЬНИКІВ.....	103
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	137

ВСТУП

Обчислення світлотехнічних величин є одним із основних прикладних завдань світлотехніки. Центральне місце в проектуванні освітлювальних установок займає світлотехнічний розрахунок, який дає змогу визначити необхідні характеристики установки (рівні освітленості або яскравості, інші якісні показники) [1].

Дійсно, споживача насамперед цікавить досягнення необхідних проектних значень світлових параметрів у визначеному приміщенні та із заданими світильниками. Зрозуміло, що це завдання є в загальному вигляді дуже складним, маючи на увазі різноманіття конфігурацій приміщень, їхній склад, геометрію розміщувань світильників, співвідношення між розмірами світильників і відстанями до освітлювальних поверхонь, поглинаючих і відбиваючих характеристик стін, стелі, підлоги тощо.

За більш ніж столітню історію розвитку для більшості практичних значущих завдань були розроблені спрощені, так звані інтинертні методи розрахунку, які базуються на використанні розрахункових таблиць, графіків і номограм, а також на типізації і аналітичній апроксимації кривої сили світла.

Це дало змогу суттєво полегшити працю проєктантів і надати можливість за прийнятний час одержати, хоча і грубу, оцінку необхідних параметрів. На базі цих методів були розроблені численні матеріали для проектування освітлювальних установок, які найбільше відповідають висунутим вимогам.

Починаючи з 80-років ХХ сторіччя почався перехід від ручної технології розрахунку до комп'ютерної. Зараз на ринку програмного забезпечення є спеціалізовані світлотехнічні програми, зокрема і такі, що дають змогу одержати на екрані монітора зображення модельованих освітлювальних установок, яке сприймається близько до реальності.

Разом із цим далі розвиваються і нові методи аналітичного аналізу.

Кінцевою метою світлотехнічного проектування є визначення типу, потужності, кількості, місцеположення й орієнтації світлотехнічних приладів, за яких забезпечуються нормативні світлотехнічні вимоги до певної освітлювальної установки. У такому визначенні завдання належить до так званих обернених завдань, коли для виконання заданих вимог необхідно знайти вихідні параметри.

Для абсолютної більшості практичних випадків вирішення такого завдання відсутнє, тому для отримання результату необхідно вирішувати пряме завдання, що зводиться до розрахунку нормовного показника

(наприклад, освітленості) за вибраних параметрів освітлювальної установки. Після цього шляхом багатократного перебору вихідних варіюваних параметрів (переважно кількості, розташування, типів потужності), знаходити їхнє оптимальне значення, за якого розраховане значення нормованого параметра задовольняє нормативним вимогам.

Цей посібник розглядається авторами як допоміжний розділ до курсу «Основи світлотехніки», який дасть змогу студентам, магістрам і аспірантам спеціальності «Світлотехніка і джерела світла» більш поглиблено вивчити математичні методи розрахунку.

Водночас автори спирались на підхід, який був розроблений Північно-американським світлотехнічним товариством (IESNA), тому в тексті трапляються неметричні одиниці, як, наприклад, яскравості фут-ламберт ($1 \text{ fl} = 3,241 \text{ кд} \cdot \text{м}^2$).

1 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ

Обчислення радіаційного перенесення світлового потоку від джерела до приймальної поверхні є фундаментальним до світлотехнічних розрахунків. Це перенесення відбувається через повітря, яке вважається не поглинальним і не розсіювальним.

Перенесення потоку визначається шістьма типами геометрії і типами випромінювача:

1. Точкове джерело до точки або до диференціала приймальної поверхні.
2. Точкове джерело до обмеженої приймальної поверхні.
3. Джерело з дифузною поверхнею до точки або до диференціальної приймальної поверхні.
4. Джерело з дифузною поверхнею до приймальної поверхні.
5. Джерело з не дифузною поверхнею до точки або диференціала приймальної поверхні.
6. Джерело з не дифузною поверхнею до приймальної поверхні.

Перенесення потоку типу 1 концептуально найпростіше і є найлегшим для формулювання.

Перенесення типів 2, 3 і 4 одержується від формулювання типу 1 інтегруванням по всьому джерелу, приймальній поверхні або обох. Перенесення типів 5 і 6 є найбільш складними, проте вони також найчастіше зустрічаються на практиці.

Світло, яке досягає точки або поверхні, описується освітленістю, вимірюється густиною потоку або потоком, що падає на одиницю поверхні.

Нерідко необхідно знати як світло відбивається від точки або поверхні. Світність є найпростішим випадком і вимірюється як густина потоку, що покидає поверхню. Складнішою є яскравість, яка описує потік, що покидає поверхню в окремому напрямку. Для розрахунків світності й яскравості необхідно знати відбиваючі властивості поверхні. У цих випадках методи для обчислення освітленості об'єднуються з інформацією про коефіцієнт відбивання для переобчислення світностей і яскравостей.

Фотометричне вимірювання світильника забезпечує розподіл сили світла, з якого отримується просторовий розподіл світлового потоку світильника. Найпростішими випадками для розрахунків є такі, за яких світильник є малим і може розглядатися точковим.

Водночас може використовуватись передавання потоку типів 1 і 2. У багатьох випадках світильники є великими і тому потребується передавання потоку типів 3 і 4 для забезпечення адекватної точності. Методи оцінювання розмірів світильників наводяться нижче. Перевідбиття є помноженням відбиття світла серед поверхонь і є важливим аспектом більшості внутрішніх освітлювальних систем, оскільки саме через перевідбиття досягаються яскравість внутрішніх архітектурних поверхонь і виявляються архітектурні форми. Для деяких внутрішніх освітлювальних систем перевідбиття є єдиним процесом, за якого для візуального завдання створюється освітленість. Таким є випадок для непрямого електричного освітлення і багатьох систем денного освітлення.

1.1 Пряме перенесення потоку

Перенесення потоку типу 1. Точкове джерело до точки

Освітленість E , створювана на поверхні A з центром в точці P , відноситься до сили світла світлового джерела $I(\Theta, \psi)$ у наступний спосіб.

Цей розподіл сили світла світлового джерела в сферичних координатах $I(\Theta, \psi)$ у геометрії, наведений на рисунку 1.1.

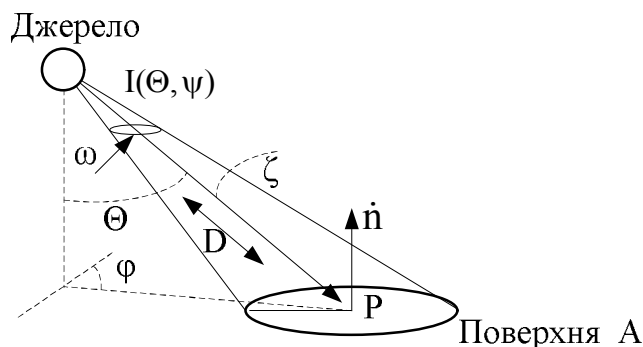


Рисунок 1.1 – Геометрична схема косинусного закону обернених квадратів

Освітленість E визначається в термінах потоку Φ , який падає на поверхню A :

$$E = \frac{\Phi}{A}. \quad (1)$$

Потік може також бути проаналізований у термінах тілесного кута ω . Якщо початок сферичної системи координат знаходиться на джерелі й поверхня A є малою порівняно з відстанню D , тоді:

$$\omega = \frac{A}{D^2} \cos \zeta, \quad (2)$$

де D – відстань між джерелом точкою P ;

ζ – кут між нормаллю (н) до поверхні A і напрямком відстані D .

Визначення сили світла джерела проводиться з використанням рівнянь (1) і (2), отже:

$$I(\Theta, \psi) = \frac{\Phi}{\omega}$$

або

$$\Phi = I(\Theta, \psi) \cdot \omega \quad (3)$$

Підставлення в рівняння (1) дає:

$$E = \frac{I(\Theta, \psi) \cdot \omega}{A},$$

а в рівняння (2):

$$E = \frac{I(\Theta, \psi)}{D^2} \cos \zeta. \quad (4)$$

Рівняння (4) є фундаментальним рівнянням перенесення потоку, так званим косинусним законом обернених квадратів [2].

Справедливість його передбачає, що рівняння (2) і сила світла є приблизно сталими в околі напрямку $I(\Theta, \psi)$. Якщо поверхню A (в околі точки P) зробити меншою, тілесний кут стає меншим і рівняння (2) стає більш точним. У граничному випадку диференціалу поверхні dA , тілесний кут стає диференціалом $d\omega$ і рівняння (2) справедливе точно. Перенесення потоку є концептуально еквівалентно нескінченно вузькому промінню світла. Розрахунковим наслідком цього розгляду є те, що рівняння (4) описує освітленість на диференціально малому околі точки P , або більш коротко, дає освітленість у точці P .

Рівняння (2) виражає тілесний кут, стягнутий поверхнею A від точки, джерело світла вважається співпадаючим із цією точкою. Обчислювальний наслідок полягає в тому, що рівняння (4) описує освітленість від точкового джерела.

Значення сили світла, яке використовується в рівнянні (4), часто одержується інтерполяцією табличних значень. Розподіли сили світла майже завжди виражаються за допомогою двох кутів сферичної системи координат; отже, необхідна інтерполяція за цими двома кутами. Застосовуються також методи білінійних і бікубічних сплайнів, подвійних сум Фур'є [3, 4].

Перенесення потоку типу 2. Точкове джерело до приймальної поверхні

Потік, який переноситься від точкового джерела до диференціала поверхні, може бути вираженим за допомогою рівняння (4). Якщо проінтегрувати по всій приймальній поверхні, то маємо потік, отриманий всією поверхнею:

$$d\Phi = EdA, \quad (4)$$

$$\Phi = \int EdA$$

$$\Phi = \int \frac{I(\Theta, \Psi) \cos \zeta}{D^2} dA. \quad (5)$$

Інтегрування проводиться по приймальній поверхні A .

Рівняння (5) може бути вирішено, використовуючи метод Монте-Карло. Концептуально світлові промені від точкового джерела D трасуються до випадково вибраної точки на приймальній поверхні A , за рівнянням (4) оцінюється кожний промінь. Вважаємо випадковий розподіл n точок на A , потік, одержаний A , буде приблизно:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \frac{E_i A}{n}, \quad (6)$$

де E_i – освітленість на приймальній точці поверхні A , зумовлена променем i . Точність рішення підвищується із збільшенням n .

Аналітичне інтегрування рівняння (5) можливе в тому випадку, коли розподіл сили світла є простою функцією і геометрична схема проста [3]. В іншому випадку необхідно апроксимувати поверхневий інтервал рівняння (5) кінцевою сумою.

У цьому випадку приймальна поверхня розбивається на маленькі частини поверхні або дискретизується, і рівняння (4) застосовується до кожної із них. Чим менше дискретна поверхня і більша їх кількість, тим точніший результат:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n I(\Theta_i, \psi_i) \cos \zeta_i \frac{a_i}{D_i^2}$$

де (Θ_i, ψ_i) – сила світла точкового джерела в напрямку i -ї частини поверхні A ;

ζ_i – кут падіння на i -ту частину поверхні A ;

a_i – поверхня i -ї частини A ;

D_i – відстань між джерелом і i -ю частиною поверхні A .

Середня освітленість \bar{E} може бути одержана з рівняння 5 або 6:

$$\bar{E} = \frac{\Phi}{A}$$

Перенесення потоку типу 3. Дифузна поверхня джерела до точки

Щоб умови справедливості прямого використання рівняння (4) задовольнялися у багатьох випадках джерело світла є достатньо великим або точка, у якій визначається освітленість є близькою.

Проте, якщо джерело є дифузним випромінювачем, рівняння (4) може бути використано не прямо.

Розподіл сили світла дифузного випромінювача в сферичних координатах подано формулою:

$$I(\Theta, \psi) = I_n \cos \Theta.$$

Розподіл є аксіально симетричним навколо напрямку (0,0), який також нормальний (перпендикулярний) до поверхні.

I_n – сила світла в напрямку нормалі до поверхні.

Оскільки кожний диференціальний елемент dA джерела є дифузним випромінювачем, розподіл сили світла такого елемента є:

$$dI(\Theta, \psi) = \frac{M_{dA} \cos \Theta}{\pi} dA,$$

де M_{dA} є світність джерела з диференціальною елемента dA .
Освітленість, створена в точці P , є:

$$dE = \frac{M_{dA} \cos \Theta \cos \zeta}{\pi D^2} dA$$

і освітленість на повній поверхні є:

$$E = \frac{M}{\pi} \int \frac{M_{dA} \cos \Theta \cos \zeta}{D^2} dA. \quad (7)$$

Якщо освітленість M є сталою вздовж усієї поверхні, тоді

$$E = \frac{M}{\pi} \int \frac{\cos \Theta \cos \zeta}{D^2} dA. \quad (8)$$

Інтегрування проводиться по всій поверхні джерела. Величина, яка помножує світність M є суто геометричною і називається форм-фактором (Configuration Factor - c) [8].

Отже:

$$E = M \cdot c, \quad (9)$$

де

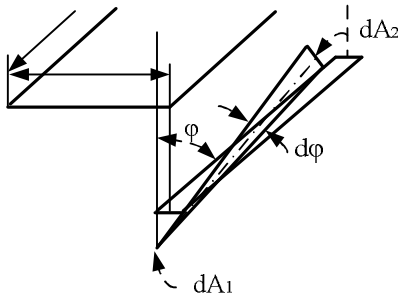
$$c = \frac{1}{\pi} \int \frac{\cos \Theta \cos \zeta}{D^2} dA. \quad (10)$$

Форм-фактор співвідносить світність дифузної поверхні випромінювача до освітленості, яка створюється ним у точці. Він має обмежені значення:

$$0 \leq c \leq 1.$$

Можливе альтернативне визначення форм-фактора. Він може бути визначенням як частина повного потоку, випроміненого диференціальним дифузним випромінювачем, яка приймається прямо поверхнею. Аналітичним результатом цього визначення є рівняння (10). Цей конфігураційний фактор оцінюється для великої кількості геометричних умов [9].

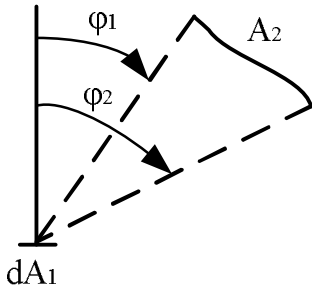
Вибір цих рівнянь подано на рисунках 1.2 і 1.3.



$$c = \frac{1}{\pi} \int \frac{V(\Theta, \zeta) \cos \Theta \cos \zeta}{D^2} dA$$

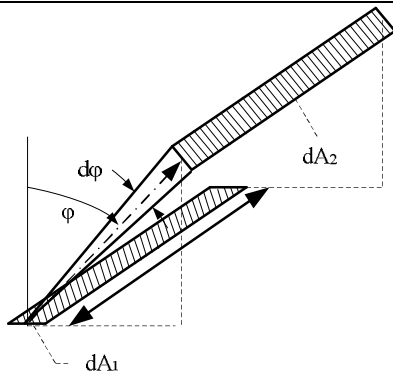
Поверхня dA_1 диференціальної ширини і будь-якої довжини, до нескінченно довгої стрічки dA_2 диференціальної ширини і з паралельно генерувальною лінією до dA_1

$$c = \frac{\cos \varphi}{2} d\varphi$$



Поверхня dA_1 диференціальної ширини й будь-якої довжини до будь-якої циліндричної поверхні A_2 утворена лінією нескінченної довжини, що рухається паралельно сама собі й паралельно до площини dA_1

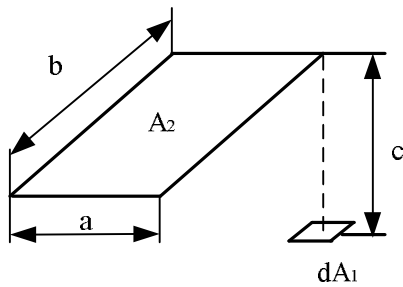
$$c = \frac{1}{2} (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1).$$



Стрічка довжини b диференціальної ширини, до диференціальної стрічки A_2 тієї ж самої довжини на паралельній утворюючій лінії

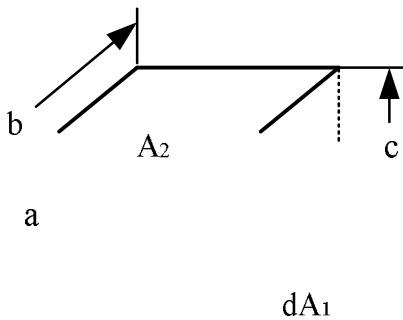
$$c = \frac{\cos \varphi}{p} d\varphi \cdot \arctg \frac{b}{r}$$

Рисунок 1.2 – Форм-фактори (c) для дифузних лінійних і просторових джерел



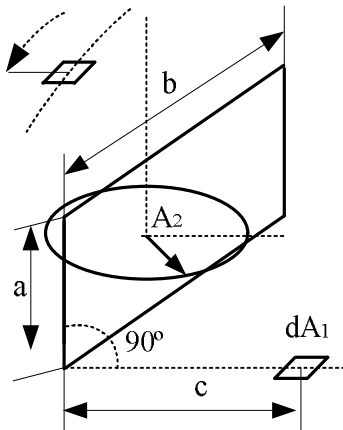
Плаский елемент dA_1 до плаского паралельного прямокутника A_2 нормального до елемента, що проходить через кут прямокутника, $x = a/c$; $y = b/c$

$$c = \frac{1}{2p} \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right)$$



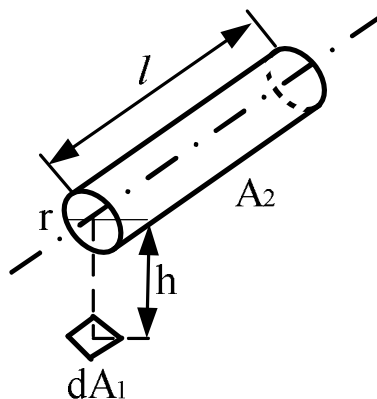
Стрічковий елемент dA_1 до прямокутника A_2 в площині, паралельній до стрічки, стрічка навпроти краю прямокутника

$$c = \frac{1}{pY} \left[\sqrt{1+Y^2} \operatorname{arctg} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} - \operatorname{arctg} X + \frac{XY}{\sqrt{1+X^2}} \operatorname{arctg} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right]$$



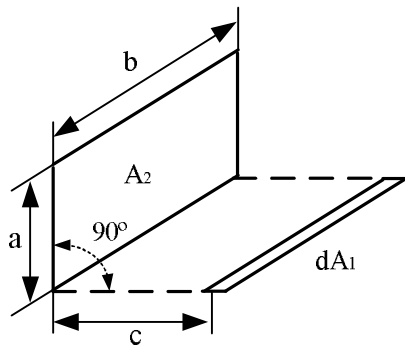
Плаский елемент dA_1 до прямокутника A_2 у площині 50° до площини елемента

$$c = \frac{1}{2p} \left[\operatorname{arctg} \frac{1}{Y} - \frac{Y}{\sqrt{X^2+Y^2}} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}} \right]$$



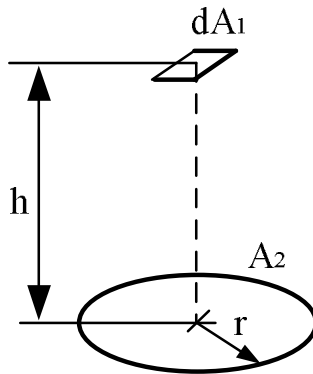
Плаский елемент dA_1 до правильного кругового циліндра кінцевої довжини l і радіуса r , нормального до елемента, що проходить через один кінець циліндра і перпендикулярний осі циліндра

$$c = \frac{1}{pH} \operatorname{arctg} \frac{L}{\sqrt{H^2-1}} + \frac{L}{p} \left[\frac{(X-2H)}{H\sqrt{XP}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{X(H-1)}{Y(H-1)}} - \frac{1}{H} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{H-1}{H+1}} \right]$$



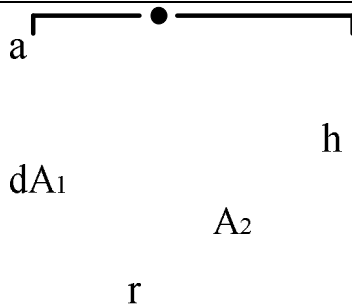
Стрічковий елемент dA_1 до прямокутника A_2 у площині 90° до площини стрічки

$$c = \frac{1}{p} \left\{ \arctg \frac{1}{Y} + \frac{Y}{2} \ln \left[\frac{Y^2(X^2 + Y^2 + 1)}{(Y^2 + 1)(X^2 + Y^2)} \right] - \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \arctg \frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right\}$$



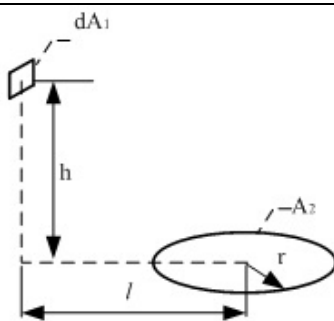
Плаский елемент dA_1 до колового диска A_2 у площині, паралельній до елемента; нормаль до елемента проходить через центр диска

$$c = \frac{r^2}{h^2 + r^2}$$



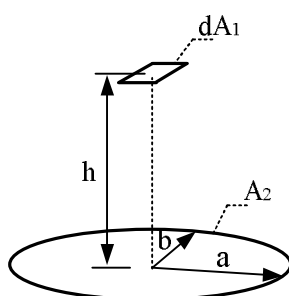
Плаский елемент dA_1 до колового диска A_2 у площині, паралельній до елемента

$$c = \frac{1}{2\pi} \left(1 - \frac{1 + H^2 - R^2}{\sqrt{Z^2 - 4R^2}} \right)$$



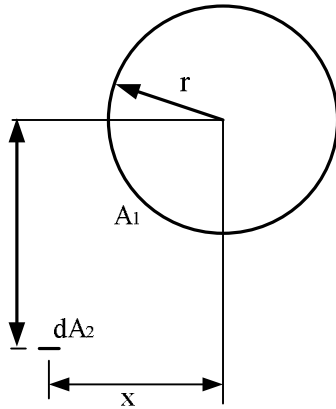
Плаский елемент dA_1 до колового диска A_2 , площини які містять елемент і диск перетинаються за 90° .

$$c = \frac{H}{2} \left(\frac{Z}{\sqrt{Z^2 - 4R^2}} - 1 \right)$$



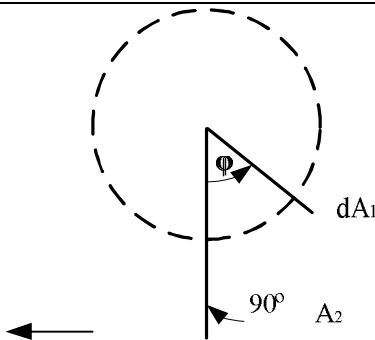
Плаский елемент dA_1 до еліптичної пластини A_2 у площині, паралельній до елемента, нормаль до елемента проходить через центр пластини

$$c = \frac{ab}{\sqrt{(h^2 + a^2)(h^2 + b^2)}}$$



Стрічковий елемент dA_2 до будь-якої довжини до необмежено довгого циліндра

$$c = \frac{Y}{X^2 + Y^2}$$



Елемент dA_1 будь-якої довжини на циліндрі до площини A_2 наближеної довжини і ширини

$$c = \frac{1}{2}(1 + \cos \varphi)$$

Рівняння (10) справедливе, коли відсутні об'єкти між джерелом із дифузною поверхнею і точковим приймачем P . Якщо вони є, тоді рівняння (10) стає:

$$c = \frac{1}{\pi} \int \frac{V(\Theta, \zeta) \cos \Theta \cos \zeta}{D^2} dA$$

де член видимості $V(\Theta, \zeta) \in 1$, якщо P є видимим із dA і 0 , якщо він закривається заважаючим об'єктом. У складних середовищах, таких як кімнати з перегородками і меблями, часто необхідно вирішувати це рівняння, використовуючи такі методи числового інтегрування, як напівкубічний метод [5-7] або квазі-Монте-Карло розподілу променів [7]. Обидва наближення засновані на аналогії Нуссельта (рис. 1.4), де форм-фактор c дорівнює площині подвійної проекції A на основу напівсфери, поділену на площину цієї основи.

Рівняння (9) може бути використано для обчислювання освітленості в точці, створюваної дифузним випромінювачем, що має конфігурацію, для якої форм-фактор відомий або може бути обчислений. Водночас вважається, що випромінювач має однорідну дифузну освітленість.

Перенесення потоку типу 4. Дифузна поверхня джерела до приймальної поверхні

Якщо випромінююча поверхня позначається як A_1 і приймальна поверхня як A_2 , тоді потік посланий від A_1 до A_2 , або $\Phi_2 \in$

$$\Phi_2 = \int E_{dA_2} dA_2,$$

де E_{dA_2} є освітленість елемента dA_2 від всього джерела A_1 . Підстановка для E_{dA_2} , використовуючи (7) дає

$$\Phi_2 = \int \frac{1}{\pi} \int \frac{M_1 \cos \Theta \cos \zeta}{D^2} dA_1 dA_2$$

Якщо світність M_1 постійна по поверхні джерела, тоді

$$\Phi_2 = \frac{M_1}{\pi} \iint \frac{\cos \Theta \cos \zeta}{D^2} dA_1 dA_2. \quad (11)$$

Інтегрування проводиться по всій поверхні джерела і по всій освітленій поверхні. Величина, яка помножується на освітленість M_1 є суто геометричною. Це є звичайним, якщо ділити її на поверхню A_1 , так що вона є часткою потоку, яка покидає поверхню A_1 і яка досягає A_2 . Це є так званий форм-фактор $f_{1 \rightarrow 2}$ [8]. Позначення для форм-факторів необхідні, щоб вказати напрямом, за яким переноситься потік. І маємо:

$$f_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{\pi A_1} \iint \frac{\cos \Theta \cos \zeta}{D^2} dA_1 dA_2. \quad (12)$$

За цим визначенням, рівняння (11) може бути переписано

$$\Phi_2 = M_1 \cdot A_1 \cdot f_{1 \rightarrow 2}.$$

Тоді середня освітленість, створювана на поверхні A_2 є:

$$\bar{E}_2 = \frac{\text{потік, випромінений і } A_1 \text{ досягаючий } A_2}{A_2}$$

$$\bar{E}_2 = \frac{M_1 \cdot A_1 \cdot f_{1 \rightarrow 2}}{A_2}.$$

Форм-фактори і поверхні зараховують світність випромінювача з дифузною поверхнею до середньої освітленості, створеної на приймальній поверхні.

Форм-фактори мають обмежені значення

$$0 \leq f \leq 1$$

і досягають взаємності

$$A_1 \cdot f_{1 \rightarrow 2} = A_2 \cdot f_{2 \rightarrow 1}.$$

Застосування взаємності дає

$$\bar{E}_2 = M_1 \cdot f_{1 \rightarrow 2}. \quad (13)$$

Рівняння для форм-факторів оцінюється для великої кількості геометричних умов. Вибір цих рівнянь подано на рисунках 1.5 і 1.6.

Рівняння (9) і (13) мають широке застосування для обчислення освітленості й середньої освітленості, створюваної дифузним випромінювачем будь-якої форми.

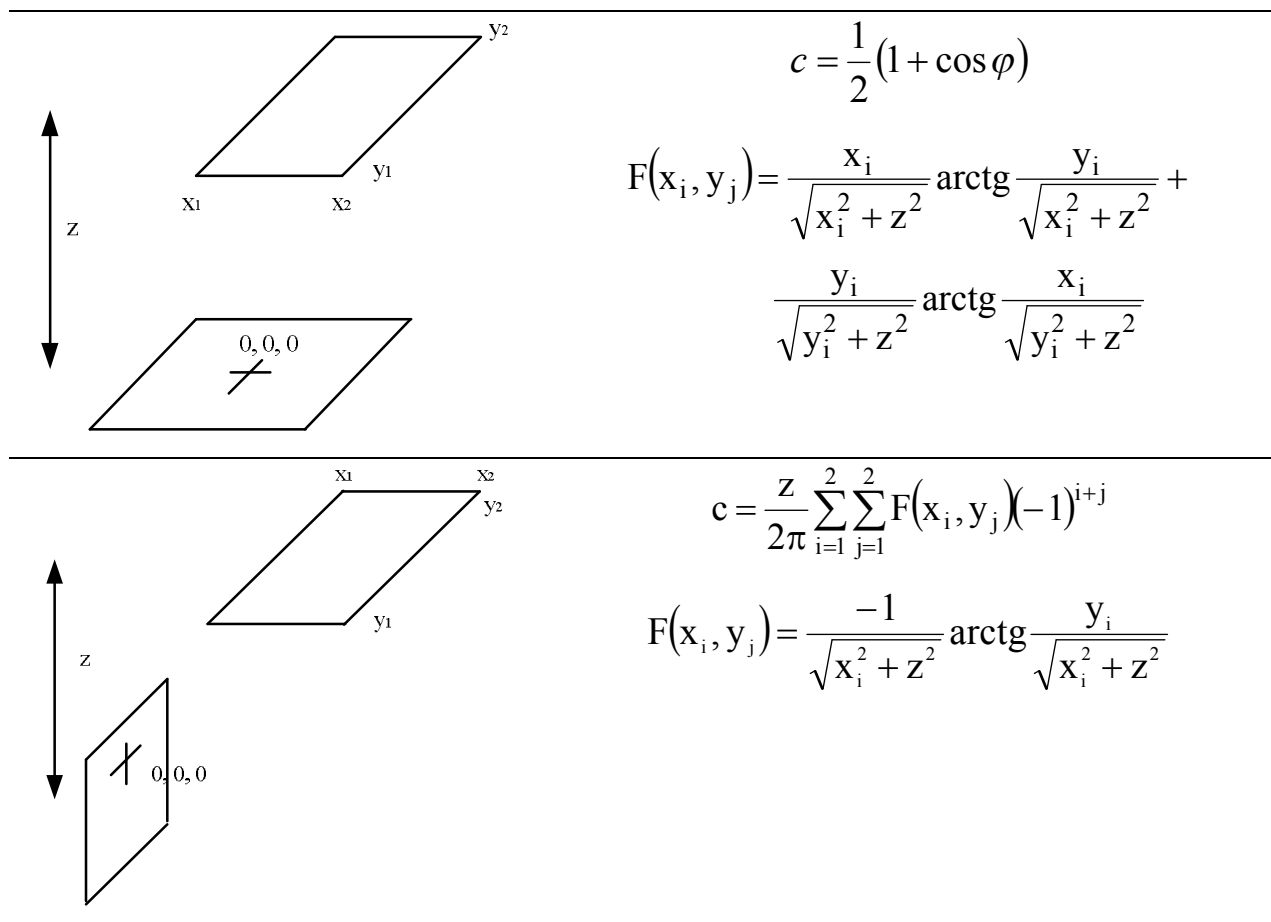


Рисунок 1.3 – Загальні форм-фактори (с) для паралельного і перпендикулярного прямокутників

Найбільш великі архітектурні поверхні мають дифузний коефіцієнт відбиття і, таким чином, є дифузними випромінювачами за відбиттям. Освітленість, створювана такими поверхнями може бути обчислена, використовуючи рівняння (9) і (13).

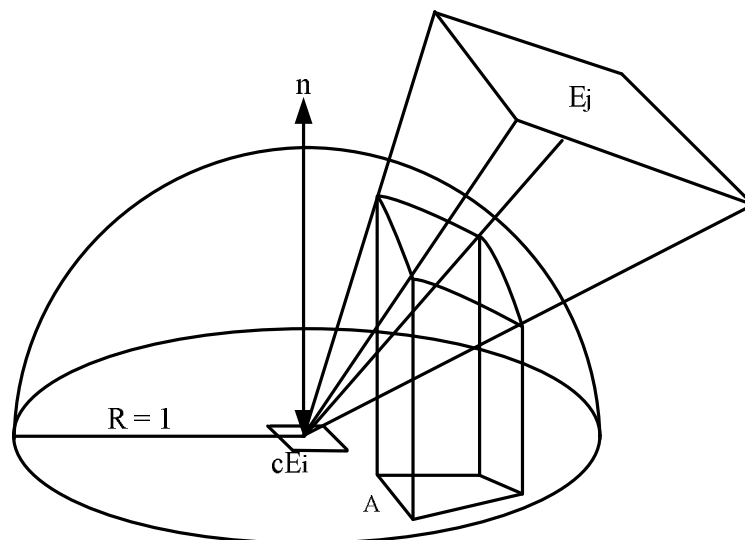


Рисунок 1.4 – Конструкція аналогії Нуссельта для дифузного радіаційного перенесення від точки до поверхні

Вони включають поверхні, які створюють світіння із-за перевідбиття світла і поверхні з непрямым освітленням.

Важко аналітично оцінити форм-фактор між поверхнями з довільною геометрією, і навіть, більш важко в присутності загороджувальних об'єктів [10, 11]. Наближену оцінку можливо одержати, використовуючи метод Монте-Карло [6, 7].

Небесне освітлення і вікна можна наближено вважати дифузними випромінювачами, зважаючи на тип коефіцієнта пропускання, який вони досягають. Рівняння (9) і (13) також можуть бути використані в цих випадках.

Якщо поверхня дифузного випромінювача не має однорідної світності, її можна дискретизувати на маленькі елементи, кожний із яких має приблизно однорідну світність. Освітленість, створювана кожним таким елементом, тоді розраховується повторенням застосувань рівнянь (9) і (13). Загальний ефект одержується додаванням окремих освітленостей.

Перенесення потоку типу 5. Джерело з недифузною поверхнею до точки

Випромінювачі з недифузною поверхнею суттєво більш складні для трактування, ніж дифузні випромінювачі. Якщо для світильників можливий розподіл сили світла дальнього поля, то рівняння (4) може бути використано в певних випадках. Якщо відстань від світильника до обчислювальної точки більше, ніж у п'ять разів найбільшого розміру світильника, тоді, трактуючи світильник як точкове джерело і використовуючи рівняння (4), можна одержати обчислювальну точність приблизно 5 % або більше.

Для точок, близьких до світильника, можна зробити припущення про однорідність (поверхневу однорідність, яка дає змогу зробити корисне наближення) [3]. За цього припущення розподіл сили світла будь-якого диференціального елемента випромінювача $dI(\Theta, \psi)$ пропорційний розподілу сили світла $I(\Theta, \psi)$ всього світильника. Стала пропорційності є відношення диференціального елемента поверхні dA до поверхні A всього світильника. Отже:

$$dI(\Theta, \psi) = I(\Theta, \psi) \frac{dA}{A}.$$

Диференціальний елемент тоді трактується як точкове джерело, і рівняння (4) використовується, щоб виразити диференціальну освітленість, що дає

$$dE = \frac{dI(\Theta, \psi) \cos \zeta}{D^2} = \frac{1}{A} \frac{I(\Theta, \psi) \cos \zeta}{D^2} dA$$

Інтегрування по поверхні світильника дає:

$$E = \frac{1}{A} \int \frac{I(\Theta, \psi) \cos \zeta}{D^2} dA \quad (14)$$

Аналітичне інтегрування рівняння (14) можливе тільки, коли розподіл сили світла є простою функцією і геометрія схеми є простою. З іншого боку необхідно апроксимувати поверхневий інтеграл рівняння (14) кінцевою сумою. У цьому випадку світильник дискретизується на малі поверхні. Чим менше дискретна поверхня і чим більше їхнє число, тим більше точність результату:

$$E = \frac{1}{A} \sum I(\Theta, \psi) \cos \zeta_i \frac{d_i}{D_i^2} \quad (15)$$

де підсумування проводиться за всіма дискретними частинами світильника,

$I(\Theta, \psi)$ – сила світла і-ї частини поверхні світильника до точки P ;

ζ_i – кут падіння для потоку від і-ї частини поверхні світильника;

d_i – площа і-ї частини поверхні світильника;

D_i – відстань між і-тою частиною поверхні світильника і точкою P ;

A – площа поверхні світильника.

Рівняння (15) широко застосовується для розрахунку освітленості, створюваної світильниками з дифузними розподілами.

Перенесення потоку типу 6. Джерело з недифузною поверхнею до приймальної поверхні

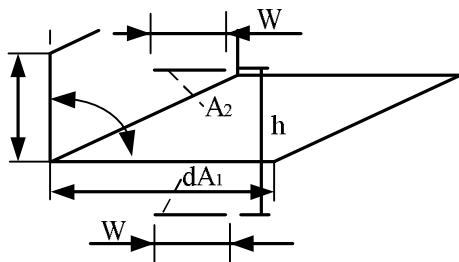
Якщо не дифузна випромінююча поверхня позначається як A_1 і приймальна поверхня як A_2 , тоді потік Φ_1 посланий від A_1 до A_2 є:

$$\Phi_2 = \int E_{dA_2} dA_2,$$

де E_{dA_2} є освітленість елемента dA_2 від всього джерела A_1 .

За того самого припущення однорідності світильника, який описаний вище, рівняння може бути використано, щоб виразити значення E_2 :

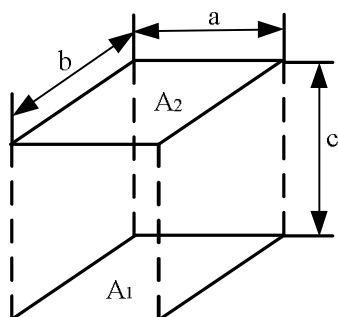
$$E_2 = \int \frac{1}{A_2} \int \frac{I(\Theta, \psi) \cos \zeta}{D^2} dA_1 dA_2, \quad (16)$$



Дві нескінченно довгі прямо протилежні пластини A_1 і A_2 тієї самої кінцевої ширини

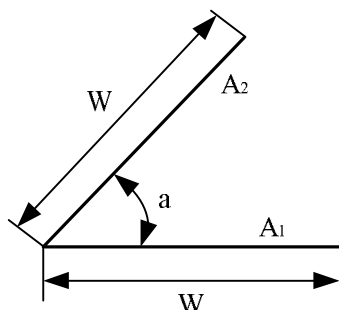
$$F_{1 \rightarrow 2} = F_{2 \rightarrow 1} = \sqrt{1 + H^2} - H$$

Рисунок 1.5 – Теорія форм-факторів радіаційного переносу (F) для джерел з дифузними поверхнями



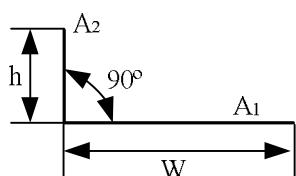
Ідентичні, паралельні, прямо протилежні
прямокутники A_1 і A_2

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{2}{\pi XY} \left\{ \ln \left[\frac{(1+X^2)(1+Y^2)}{1+X^2+Y^2} \right]^{1/2} + \right. \\ \left. X\sqrt{1+Y^2} \arctg \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} + \right. \\ \left. Y\sqrt{1+X^2} \arctg \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} - \right. \\ \left. X \arctg X - Y \arctg Y \right\}$$



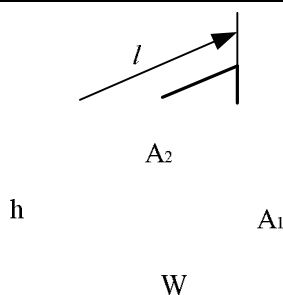
Дві нескінченно довгі плати A_1 і A_2 рівної
ширини W , які створюють кут α один із
одним

$$F_{1 \rightarrow 2} = F_{2 \rightarrow 1} = 1 - \sin \frac{\alpha}{2}$$



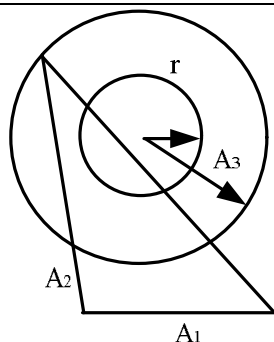
Дві нескінченно довгі плати A_1 і A_2 нерівної
ширини h і W , які створюють кут в 90° один
із одним

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{2} \left[1 + H - \sqrt{1 + H^2} \right]$$



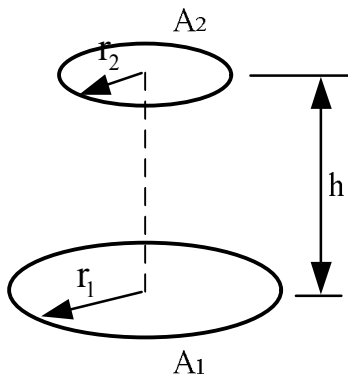
Два обмежених прямокутника A_1 і A_2 тієї
самої довжини, які створюють кут у 90° один
із одним

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{\pi W} \left(W \arctg \frac{1}{W} + H \arctg \frac{1}{H} - \sqrt{H^2 + W^2} \arctg \frac{1}{\sqrt{H^2 + W^2}} + \right. \\ \left. \frac{1}{4} \ln \left\{ \left[\frac{(1+W^2)(1+H^2)}{1+W^2+H^2} \right] \left[\frac{W^2(1+W^2+H^2)}{(1+W^2)(W^2+H^2)} \right]^W \left[\frac{H^2(1+H^2+W^2)}{(1+H^2)(H^2+W^2)} \right]^W \right\} \right)$$



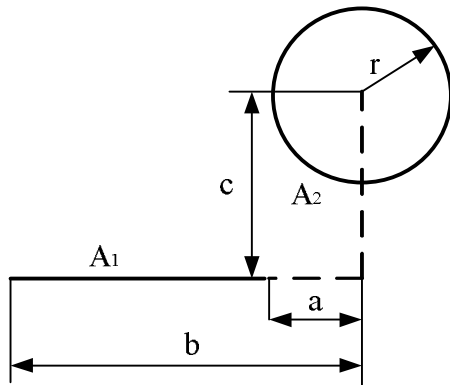
Нескінченно довга сформована трьома
пласкими поверхнями A_1 , A_2 і A_3

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{2A_1}$$



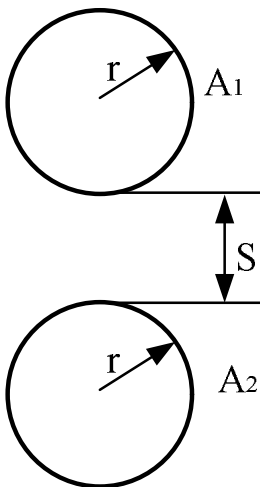
Паралельні кругові диски A_1 і A_2 із центром вздовж деякої нормалі

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{2} \left[X - \sqrt{X^2 - 4 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2} \right]$$



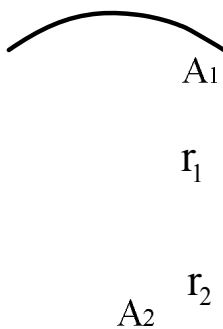
Нескінченно довга площа A_1 кінцевої ширини до паралельного нескінченно довгого циліндра

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{r}{b-f} \left[\operatorname{arctg} \frac{b}{c} - \operatorname{arctg} \frac{a}{c} \right]$$



Нескінченно довгі паралельні циліндри A_1 і A_2 одного і того самого діаметра

$$F_{1 \rightarrow 2} = F_{2 \rightarrow 1} = \frac{1}{\pi} \left[\sqrt{X^2 - 1} + \arcsin \left(\frac{1}{X} \right) - X \right]$$

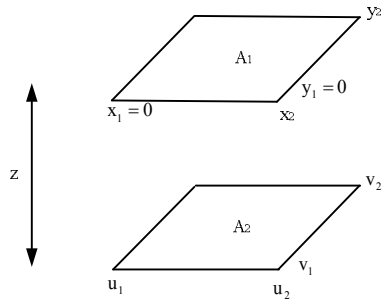


Концентричні циліндри нескінченної довжини

$$F_{1 \rightarrow 2} = 1$$

$$F_{2 \rightarrow 1} = \frac{r_1}{r_2}$$

$$F_{2 \rightarrow 2} = 1 - \frac{r_1}{r_2}$$

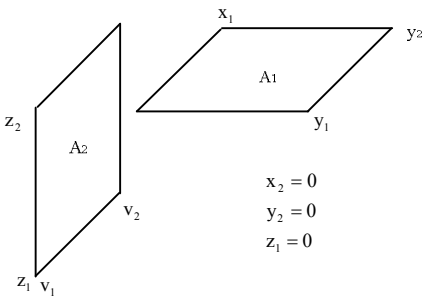


$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{z^2}{\pi A_1^2} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 H(u_i, v_j, x_k, y_m) (-1)^{i+j+k+m}$$

$$H(u_i, v_j, x_k, y_m) = b\sqrt{1+a^2} \arctg \frac{b}{\sqrt{1+a^2}} +$$

$$a\sqrt{1+b^2} \arctg \frac{a}{\sqrt{1+b^2}} - \frac{1}{2} \ln(1+a^2+b^2)$$

$$a = (x_k - u_i)/z \quad b = (y_m - v_j)/z$$



$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{\pi A_1} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 G(v_i, z_j, x_k, y_m) (-1)^{i+j+k+m}$$

$$G(v_i, z_j, x_k, y_m) = a\sqrt{c^2+b^2} \arctg \frac{a}{\sqrt{c^2+b^2}} +$$

$$\frac{1}{4} (a^2 - b^2 - c^2) \ln(a^2 + b^2 + c^2)$$

$$a = y_m - v_i \quad b = \bar{z} - z_j \quad c = x_k - \bar{x}$$

$$\bar{z} = z$$

$$\bar{x} = x$$

Рисунок 1.6 – Загальні вирази для форм-факторів між паралельними і перпендикулярними прямокутниками

Подвійні поверхневі інтеграли звичайно не можуть бути оцінені аналітично, і подвійне підсумування за поверхнями використовується для апроксимації. У цьому випадку світильник і приймальна поверхня дискретизується на малі поверхні. Чим менша дискретна поверхня і чим більше їх число, тим точніше результат (рис. 1.5).

$$E_2 = \int \frac{1}{A_2} \sum_i \sum_j I(\Theta_{ij}, \psi_{ij}) \cos \zeta_{ij} \frac{a_{1i} a_{2j}}{D_{ij}^2} \quad (17)$$

де підсумовування проводиться за всіма дискретними частинами поверхні світильника і приймальної поверхні.

$I(\Theta_{ij}, \psi_{ij})$ – сила світла і-тої частини світильника в напрямку j-тої частини приймальної поверхні;

ζ_{ij} – кут падіння потоку від і-тої частини світильника;

a_{1i} – і-та частина поверхні світильника;

a_{2j} – j-та частини приймальної поверхні;

D_{ij}^2 – відстань між і-тою частиною світильника і j-тою частиною приймальної поверхні;

A_1 – площа поверхні світильника;

A_2 – площа приймальної поверхні.

Рівняння (16) може бути альтернативно оцінено, використовуючи метод квазі Монте-Карло вибору променів [5-7], коли розподіл точок, із яких промені посиляються від випромінюючої поверхні A_1 до приймальної поверхні A_2 , зважуються відповідно до фотометричного розподілу не дифузної випромінювальної поверхні.

Усі попередні аналізи типів підсумовані в таблиці 1.1. Рівняння, яке використовується для розрахунку освітленості, визначається розміром джерела, розміром приймального елемента і природою розподілу сили світла джерела. Якщо відстань між джерелом і аналізованою точкою менше, ніж у п'ять разів найбільшого розміру джерела, джерело розглядається як поверхнєве джерело для цілей розрахунку. Це правило п'ятикратності обговорюється в наступному розділі.

Таблиця 1.1 – Рівняння перенесення потоку

Розмір джерела	Розмір приймального елемента	Розподіл	Відповідні рівняння
Точка	Точка	дифузний	(1.4)
	Точка	не дифузний	(1.4)
	Поверхня	дифузний	(1.9)*
	Точка	дифузний	(1.9)*
	Точка	не дифузний	(1.15)
	Поверхня	дифузний	(1.13)*
	Поверхня	дифузний	(1.17)

Примітка: * означає, що ці рівняння спроможні для специфічних геометрій (див. рис. 1.2, 1.3, 1.5 і 1.6)

1.2 Фотометрія як основа розрахунків

Розподіл сили світла використовується для визначення характеристик просторового розподілу джерел світла. Цей опис трактує джерело як точку і дає силу світла. Устава є достатньо великою, щоб забезпечити складний опис просторового розподілу потоку.

Сила світла джерела світла або світильника розраховується через вимірювання освітленості. Освітленості одержуються відповідним вимірюванням відстані, яку визначає уявна сфера з радіусом, що дорівнює

вимірювальній відстані. Центр сфери співпадає з попередньо прийнятої точкою в середині світильника. Так званий фотометричний центр є часто початком системи координат, що використовується для розрахунків [12].

Якщо джерело вважається точкою, тоді сила світла й освітленість співвідносяться через рівняння (4). Якщо вимірювання освітленості проведено так, що нормаль до поверхні давача освітленості орієнтований на фотометричний центр, тоді косинус кута спостереження дорівнює 1 і рівняння (4) стає

$$E_t = \frac{I}{D_t^2}$$

або

$$I = E_t \cdot D_t^2 \quad (18)$$

де I – сила світла;

E_t – вимірювана освітленість;

D_t – вимірювана відстань.

Сила світла є інваріант відстані, оскільки добуток $E_t \cdot D_t^2$ є інваріант відстані. Таким чином, освітленість на будь-якій відстані дається рівнянням (4).

У фотометрії світильників рівняння (18) взагалі застосовується для одержання відносного значення сили світла, світильника у вибраному напрямку. Тоді величина визначається через фотометрію відкритих ламп за процедурою, відомою як відносна фотометрія.

1.3 Фотометрія дальнього поля

Припущення про світильник як точкове джерело дає змогу розрахувати освітлюваність, створювану за будь-яких геометричних обставин. Розраховане значення розподілу сили світла спирається на припущення, що освітленість змінюється обернено пропорційно відстані в квадраті і пропорційно косинусу кута падіння.

Тільки точкове джерело створює освітленості, які завжди змінюються як обернений квадрат відстані. Проте, не беручи до уваги розмір світильника, завжди можливо вибрати відстань D_t суттєво великою так, що освітленості, створювані на відстанях більших, ніж D_t , змінюються близько до оберненого квадрату відстані.

Ямауті [13] та Фокк [14] вперше показали це для дифузних випромінювачів. Для цих випромінювачів D_t дорівнює п'ятикратному

максимальному розміру випромінювача. Це правило п'яти разів дає змогу досягти розрахункової точності в гіршому випадку 2 % для дифузних випромінювачів. У фотометрії дальнього поля, відстань найменшою із якої є D_t , використовується для вимірювань освітленості, за якою розраховується сила світла.

Одержані результати сили світла можуть тоді бути використані для розрахунків освітленостей на відстанях, більших ніж D_t , трактуючи світильники як точкове джерело. Освітленості, розраховані за припущення світильника як точкового джерела на відстанях, менших ніж D_t , є неточними. На рис. 1.7 показано, яку можна очікувати похибку на прикладі квадратного дифузного випромінювача. Похибка, у відсотках від правильного значення, дається як функція відношення розрахунку відстані D до розміру світильника. Правило п'яти разів потребує значення цього відношення 5 або більше. Порівняння між виміряними і завбаченими значеннями з використанням реальних світильників дають подібні результати [15].

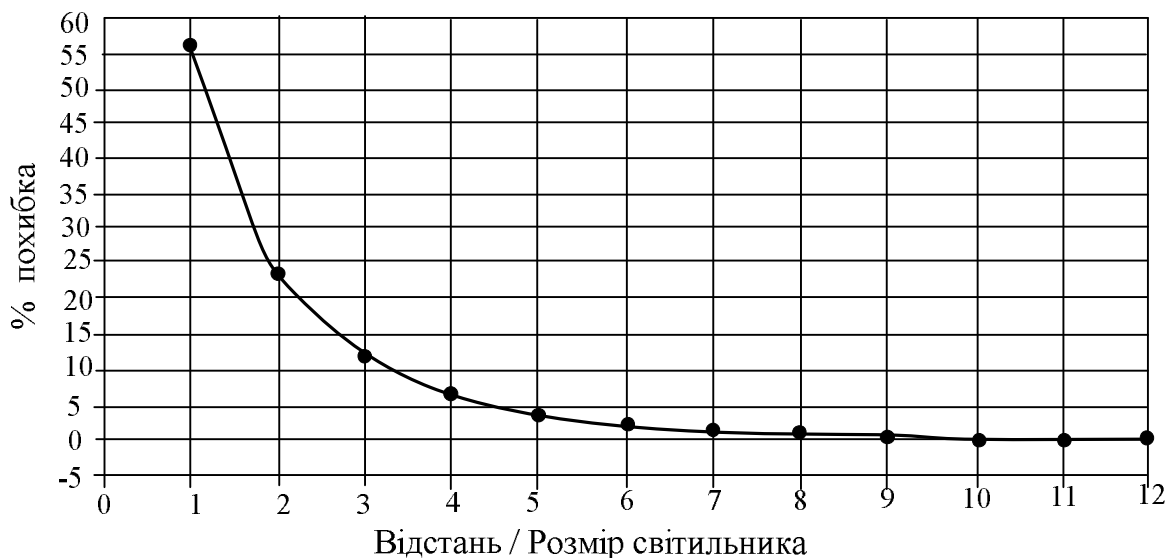


Рисунок 1.7 – Демонстрація правила п'яти разів для фотометричних вимірювань

Необхідно зазначити, що розподіл сили світла інших, ніж дифузні випромінювачі, мають інші значення D_t [16]. Проте звичайно застосовують правила п'яти розмірів для більшості фотометрій внутрішніх світильників.

1.4 Фотометрія ближнього поля

Фотометрія ближнього поля описує просторовий розподіл потоку світильника у спосіб, який дає змогу точно розрахувати освітленість на відстанях, менших ніж D_t . Фотометрія ближнього поля є, зокрема, важливою

для аналізу непрямих освітлювальних систем. Два типи фотометрії ближнього поля розвинено спеціально для покращення розрахункової точності.

Фотометрія застосування відстаней використовує тестові відстані, які дорівнюють відстаням, за яких зроблено розрахунки освітленостей [17-19]. Немає припущень про виконання інваріантності відстаней. У цьому випадку світильник має трактуватися як точкове джерело для розрахунків. Оскільки розрахунок освітлення можливо проводити за багатьох відстанях, фотометрія застосування відстаней забезпечує розподіл сили світла кількох тестових відстаней.

Фотометрія яскравісного поля [16, 20, 21] вимірює і описує розподіл яскравості світильника, яка спостерігається із ряду точок, що повністю оточують світильник. Усі точки знаходяться на тій самій відстані від фотометричного центру світильника. Точно встановлені дані описують чотирирозмірне скалярне поле яскравості.

Зважаючи на ці дані яскравості, освітленість може бути розрахована на будь-якій відстані й орієнтації світильника. Вимірювання за фотометрією яскравісного поля може бути проведене за допомогою ССД відеокамери [22], проте величину даних може бути важко встановити [23].

1.5 Відбиваючі властивості поверхонь

Абсолютно дифузний і абсолютно дзеркальний коефіцієнти відбиття є корисними спеціальними випадками. Ці випадки спеціального розподілу дають змогу значно спростити розрахунки, включаючи відбиття світла від поверхонь. Абсолютно дифузним відбиттям є таке, за якого сила світла в певному напрямку пропорційна косинусу кута відхилення від перпендикуляра до поверхні. Відбитий потік від дифузної поверхні не залежить від напрямку падіння або азимутального кута. Таким чином, відбиваюча поверхня виявляє яскравість, незалежну від кута спостереження.

Повністю дзеркальне відбиття є таким, за якого потік відбивається за дзеркальним кутом до напрямку падіння. Таким чином, кут відбитого потоку дорівнює куту між напрямком падіння і перпендикуляром до поверхні, а азимутальне розділення опроміненості й падаючого потоку є точно 180° .

Багато поверхонь і оздоблювань використовуються в архітектурі для досягнення коефіцієнта відбиття, який є суттєво дифузним, щоб розглядати його як повністю дифузне.

Це важливо для розрахункових цілей, оскільки вони можуть розглядати дифузні випромінювачі безвідносно до напрямку падіння світла.

У деяких випадках припущення про дифузність спричиняє дуже неточні результати. Як приклад цього розрахунок яскравістних візуальних завдань, таких як олівцеві позначки на папері, гравірувальні позначки на кермі й дорожні поверхні [24].

У цих випадках має бути використана двонаправлена функція розподілу (Bidirectional Reflectance Distribution Function – BRDF) коефіцієнта відбиття.

На додаток до спрощення просторового розподілу характеристик коефіцієнта відбиття часто можливо (і необхідно) спростити їхні спектральні характеристики. Коефіцієнти відбиття всіх поверхонь змінюються з довжиною хвилі падаючого світла.

Коефіцієнт відбиття, відмічений для вибраної поверхні, звичайно одержується інтегруванням, пропорційному світлу, відбитому від поверхні у всьому видимому діапазоні. Хоча коефіцієнт відбиття визначено змінюється, якщо змінюється спектр освітлювального засобу, є корисним припущенням вважати, що коефіцієнт відбиття є спектрально рівним.

Поверхню вважають «сірим відбивачем» із коефіцієнтом відбиття, що дорівнює інтегрованій величині. Отже, вважається, що поверхня виявляє той самий коефіцієнт відбиття безвідносно спектрального розподілу потужності падаючого світла, яке використовується під час розрахунків. Це належить до «сірого припущення».

Хоча це спрощує розрахунки й звичайно призводить тільки до малих похибок, можуть виникнути труднощі. Коефіцієнт відбиття поверхні з глибоко насиченим кольором має суттєвий спектральний коефіцієнт відбиття тільки в вузькому діапазоні довжин хвиль. Використовування джерела світла, спектрально відмінного від того, який використовується під час розроблення еталонного коефіцієнта відбиття, може тоді привести до значних похибок.

1.6 Перевідбиття світла

Частина світла, падаюча на архітектурну поверхню, поглинається, а частина відбивається. Відбита частина опромінює інші поверхні, де поглинається і відбивається знову. Це може повторюватися нескінченну кількість разів. Явище, повторюване зміною світла множенням відбиття, називається перевідбиттям [25-28]. Архітектурні поверхні освітлюються через перевідбиття, так само як і світлом, що досягає їх прямо від таких джерел, як світильники денного світла і вікна. Світність цих поверхонь визначається світловою рівновагою, яка досягається збалансуванням між світлом від світильників і денним світлом, і поглинутим поверхнями світлом.

Ці світності є так званими фінальними світимостями, на противагу початковим світимостям, які створюються прямим світлом від світильників або денним світлом перед процесом перевідбиття.

Поверхні, які освітлюються із-за перевідбиття, стають додатніми джерелами світла і, таким чином, мають розглядатися при визначенні освітленості. Освітленість, створена відбитим світлом, термінується перевідбитою компонентою. У більшості архітектурних устав звичайно вважається, що поверхні мають дифузний коефіцієнт відбиття і, таким чином є дифузними випромінювачами. Вони мають тоді трактування як дифузні поверхневі джерела, і освітленість обчислюється з використанням рівнянь для дифузного поверхневого джерела, включаючи конфігураційні фактори і поверхневу світність. Повна компонента перевідбиття в розглядуваній точці є

$$E_{int\ er} = \sum_{i=1}^n c_{i \rightarrow p} \cdot M_i \quad (19)$$

де $c_{i \rightarrow p}$ – конфігураційний фактор від поверхні і до р;

M_i – дифузна світність поверхонь.

Отже, розрахунок перевідбитої компоненти освітленості потребує визначення фінальної світності таких поверхонь, які освітлюються перевідбиттям.

Найбільш корисною розрахунковою процедурою для визначення фінальних світностей є метод кінцевих елементів [29-31].

Поверхні дискретизуються, водночас вважається, що кожний елемент має різну, проте однорідну світність. У більшості випадків також можна вважати, що коефіцієнти відбиття є абсолютно дифузними. Точність розрахунку яскравості зразка залежить від розміру зон і від ступеня дифузності коефіцієнта відбиття.

Моделювання кімнатних поверхонь як дискретних елементів не тільки дає змогу апроксимувати дійсні зразки світності в кімнаті, але таке моделювання може також репрезентувати ефект дверей, вікон, дошки об'яв [29] тощо.

Оскільки ці поверхні взагалі за коефіцієнтом відбиття відрізняються від стін, їхня світність також різна, як і вплив на освітленість у середині простору.

Ступінь, за якої зразок світності вважається зібранням зон світності, залежить від розміру зони. Висока змінність такої направленої компоненти, яка може бути створена непрямым освітленням або стінооминаючими системами, може потребувати малої дискретизації поверхонь. Це дає змогу створювати точну модель значних яскравісних градієнтів.

У сучасних моделях також можуть бути розглянуті такі інтер'єрні перешкоди, як перегороди, полиці і меблі [32-33]. Інші методи використовуються для зменшення кількості роботи, потрібної для вирішення таких систем і також для наближення до розрахунків у просторах із інтер'єрними перешкодами [34-37].

Числові методи засновані на теорії переносу радіаційного потоку [5-6]. (також відомого як метод випромінення) і трасування променів [38]. розвинено комп'ютерно-графічним співтовариством. Незважаючи на те, що ці методи розвивалися спочатку для архітектурного передавання, вони базувалися на фізичних принципах [5, 23] і, таким чином, могли бути також застосовані для вирішення завдань техніки освітлення.

Методи випромінення моделюють абсолютне дифузне відбиття, у той час як техніка трасування променів краще підходить для моделювання дзеркального відбиття. Для точної моделі обох, як дифузного, так і дзеркального, відбиттів, більш розвинений гібрид методів [23, 39, 40].

1.7 Рівняння радіаційного перенесення

Для отримання рівняння розрахунку перевідбиття записується рівняння балансу для кожного елемента. Воно прирівнює повний потік, який виходить із елемента, повному падаючому потоку, помноженому на коефіцієнт відбиття потоку. Повний падаючий потік має дві прямі компоненти, зумовлені електричним джерелом і джерелом денного світла, і перевідбиту компоненту, зумовлену потоком від усіх інших елементів. Рівність, що виражає рівність потоків, спостерігається тоді, коли береться до уваги перевідбиття. Для i -го елемента системи радіаційного перенесення, рівняння є:

$$M_i = M_{0i} + \rho_i \cdot (f_{i \rightarrow 1} \cdot M_1 + f_{i \rightarrow 2} \cdot M_2 + \dots + f_{i \rightarrow m-1} \cdot M_{m-1} + f_{i \rightarrow m} \cdot M_m) \quad (20)$$

Це може бути записано для кожного поверхневого елемента в системі, у результаті є ряд незалежних сумісних рівнянь. Якщо виразити в матричній формі, будемо мати:

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \dots \\ M_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{01} \\ M_{02} \\ \dots \\ M_{0m} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \rho_1 f_{1 \rightarrow 1} & \rho_1 f_{1 \rightarrow 2} & \rho_1 f_{1 \rightarrow m-1} & \rho_1 f_{1 \rightarrow m} \\ \rho_2 f_{2 \rightarrow 1} & \rho_2 f_{2 \rightarrow 2} & \rho_2 f_{2 \rightarrow m-1} & \rho_2 f_{2 \rightarrow m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_m f_{m \rightarrow 1} & \rho_m f_{m \rightarrow 2} & \rho_m f_{m \rightarrow m-1} & \rho_m f_{m \rightarrow m} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \dots \\ M_m \end{bmatrix}, \quad (21)$$

де m – число зон у системі;

M_i – світність i -ої зони, зумовлена прямим і перевідбитим потоками;

ρ_i – коефіцієнт відбиття i -тої зони;

M_{0i} – світність, зумовлена прямою компонентою на i -й зоні (із-за світильників і денного світла);

$f_{1 \rightarrow j}$ – форм-фактор від зони i до зони j (зазначимо, що для планарних зон $f_{1 \rightarrow 1} = 0$).

Для простих геометрій форм-фактори можуть бути розраховані, використовуючи рівняння, які знаходяться на рисунках 1.5 і 1.6 для паралельних і ортогональних прямокутників. Для більш складних геометрій і особливо для середовищ із загороджувальними об'єктами необхідно використовувати методи числового інтегрування, такі як напівкубічний і Монте-Карло трасування променів. Наведене вище матричне рівняння може бути переписано в термінах освітленості кожної поверхні. Це форма, зокрема, цінна, коли одним або більше коефіцієнтів відбиття задається значенням нуль, оскільки тоді освітленість кожного елемента є незалежною від коефіцієнта відбиття елемента.

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{01} \\ E_{02} \\ \dots \\ E_{03} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \rho_1 f_{1 \rightarrow 1} & \rho_1 f_{1 \rightarrow 2} & \rho_1 f_{1 \rightarrow m-1} & \rho_1 f_{1 \rightarrow m} \\ \rho_2 f_{2 \rightarrow 1} & \rho_2 f_{2 \rightarrow 2} & \rho_2 f_{2 \rightarrow m-1} & \rho_2 f_{2 \rightarrow m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_m f_{m \rightarrow 1} & \rho_m f_{m \rightarrow 2} & \rho_m f_{m \rightarrow m-1} & \rho_m f_{m \rightarrow m} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_m \end{bmatrix}, \quad (22)$$

Найпростіший шлях вирішення цієї матричної системи це використання методу ітерацій [5, 40]. Ітерація починається встановленням вектора M рівним вектору світності M_0 у рівнянні (21), використовуючи це початкове оцінювання системи. Ця початкова оцінка тоді підставляється в праву частину для утворення іншої оцінки вирішення зліва.

Можуть застосовуватись різні ітераційні методи. Ітерація Джакобі [23] точно симулює фізичні відбиття і поглинання світла в середині середовища. Швидко збіжність одержують від ітерації Гаусса-Зейделя [43], типова від п'яти до десяти ітерацій для простого середовища з кількома елементами. Недолік ітерації Гаусса-Зейделя полягає в тому, що необхідний повний форм-фактор матриці для кожної ітерації. Це обмежує кількість елементів, які можуть моделюватися, використовуючи комп'ютерну симуляцію. Різновид ітерації Southwell, названий прогресивно витонченим [6], є кращим тому, що тільки один стовпець форм-фактора матриці необхідний для кожної ітерації. Це дає змогу моделювати складні середовища з сотнями і тисячами елементів із збіжністю, що досягається за кілька хвилин за допомогою нормативних комп'ютерів [40].

1.8 Впровадження моделі потокового балансу

Найпростішим прикладом проблеми радіаційного перенесення, яка вирішується цим методом, є система двох поверх:

$$M_1 = \frac{M_{01} + M_{02} \rho_1 f_{1 \rightarrow 2}}{1 - \rho_1 \rho_2 f_{1 \rightarrow 2} f_{2 \rightarrow 1}}, \quad (23a)$$

$$M_2 = \frac{M_{02} + M_{01} \rho_2 f_{2 \rightarrow 1}}{1 - \rho_1 \rho_2 f_{1 \rightarrow 2} f_{2 \rightarrow 1}}, \quad (23b)$$

де M_1 – фінальна світність поверхні 1, беручи до уваги перевідбиття;

M_2 – фінальна світність поверхні 2, беручи до уваги перевідбиття;

M_{01} – початкова світність поверхні 1;

M_{02} – початкова світність поверхні 2;

ρ_1 – дифузний коефіцієнт відбиття поверхні 1;

ρ_2 – дифузний коефіцієнт відбиття поверхні 2;

$f_{2 \rightarrow 1}$ – форм-фактор від поверхонь 2 до поверхні 1;

$f_{1 \rightarrow 2}$ – форм-фактор від поверхонь 1 до поверхні 2.

Ці рівняння забезпечують спосіб встановлення ефекту перевідбиття у випадку тільки двох поверхонь, або коли тільки два елементи великої системи приймають участь в перевідбитті.

Інший приклад того, як проста модель балансу потоку може бути застосована до аналізу освітлювальної системи, є модель трьох поверхонь у методі Люмена [44-46]. Геометричною схемою є порожня прямокутна кімната із вбудованим світловим обладнанням. Освітлювальна система забезпечує загальну однорідну освітленість на робочій поверхні. Вважається, що всі поверхні мають повністю дифузний коефіцієнт відбиття, і такий самий коефіцієнт відбиття приймається для чотирьох стін. Це дозволяє трактувати чотири стіни як одну поверхню. Повинна бути розрахована середня освітленість на підлозі.

Для процедури кінцевих елементів тоді маємо три елемента або зони: стеля, стіни і підлога. Поверхні мають початкові світності M_{0c} , M_{0w} , M_{0f} відповідно. Ці початкові світності зумовлені падаючим на ці поверхні потоком від світильників у середині кімнати.

Оскільки є перевідбиття, фінальні світності M_c , M_w , M_f можуть бути виражені у такий спосіб.

$$M_c = M_{0c} + \rho_c (M_w f_{c \rightarrow w} + M_f f_{c \rightarrow f}), \quad (24)$$

$$M_w = M_{0w} + \rho_w (M_c f_{w \rightarrow c} + M_w f_{w \rightarrow w} + M_f f_{w \rightarrow f}), \quad (25)$$

$$M_f = M_{0f} + \rho_f (M_c f_{f \rightarrow c} + M_w f_{f \rightarrow w}). \quad (26)$$

де M_c – фінальна світність стелі;

M_w – фінальна світність стіни;

M_f – фінальна світність підлоги;

M_{0c} – початкова світність стелі;
 M_{0w} – початкова світність стіни;
 M_{0f} – початкова світність підлоги;
 ρ_c – коефіцієнт відбиття стелі;
 ρ_w – коефіцієнт відбиття стіни;
 ρ_f – коефіцієнт відбиття підлоги;
 $f_{f \rightarrow c}$ – форм-фактор від підлоги до стелі;
 $f_{f \rightarrow w}$ – форм-фактор від підлоги до стін;
 $f_{w \rightarrow c}$ – форм-фактор від стін до стелі;
 $f_{w \rightarrow w}$ – форм-фактор від стін до стін;
 $f_{w \rightarrow f}$ – форм-фактор від стін до підлоги;
 $f_{c \rightarrow w}$ – форм-фактор від стелі до стін;
 $f_{c \rightarrow f}$ – форм-фактор від стелі до підлоги.

За цими трьома рівняннями і форм-факторами можуть бути визначені будь-які інтер'єрні освітлюваність або світність. Наведений вище ряд сумісних рівнянь є основою для утворення таблиць коефіцієнтів застосування, коефіцієнтів світності стін і коефіцієнтів світності стелі.

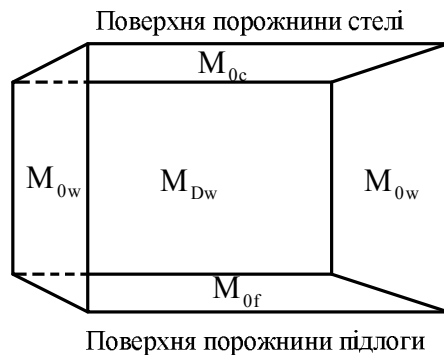


Рисунок 1.8 – Діаграма теорії радіаційного перенесення

Ця проста геометрія дає змогу визначити шість форм-факторів, які залишаються, через форм-фактор $f_{c \rightarrow f}$ між підлогою і стелею, використовуючи взаємність і вимоги балансу потоку (сума всіх форм-факторів, що залишають просту поверхню, має дорівнювати 1,0 для закритих систем).

$$f_{f \rightarrow c} = f_{c \rightarrow f}, \quad (27)$$

$$f_{c \rightarrow w} = f_{f \rightarrow \infty} = 1 - f_{c \rightarrow f}, \quad (28)$$

$$f_{w \rightarrow c} = f_{w \rightarrow f} = \frac{A_c}{A_w} (1 - f_{c \rightarrow f}), \quad (29)$$

$$f_{w \rightarrow w} = 1 - 2f_{w \rightarrow c}. \quad (30)$$

У цих рівняннях A_c і A_w є площинами поверхонь стелі і стін

відповідно. Модель трьох поверхонь є найпростішою із усіх моделей перенесення потоку для розрахунку внутрішнього освітлення. Вона припускає, що потік освітлює кожну поверхню однорідним способом і не включає зміни вздовж будь-якої поверхні. Відповідно до практики МКО і методу Люмена, описаного нижче, стандартні коефіцієнти таблиць засновані на відношенні довжина до ширини в 1,6 і подаються як функція відношення кімнатної порожнини (Room Cavity Ration – RCR). У таблиці 1.2 подані числові значення для різних форм-факторів.

Метод Люмена розширює корисність цієї моделі трьох поверхонь, припускаючи поверхні стелі і підлоги як віртуальні поверхні, які є в насправді отворами в прямокутних порожнинах. Ці віртуальні поверхні задаються ефективними прямокутниками. Верхня частина віртуальної поверхні є площиною, яка містить світильники, і порожниною, яка цю віртуальну поверхню репрезентує та розширюється від світильників до стін. Дно віртуальної поверхні – це робоча площа, і порожнина, яка цю віртуальну поверхню представляє, розповсюджується від робочої площини до підлоги. Зазначимо, що середня освітленість на робочій поверхні є її фінальна світність поділена на її ефективний коефіцієнт відбиття.

Точно та сама процедура, хоча більш складна, може бути використана для моделей радіаційного перенесення в кімнаті, яка використовує більше ніж три поверхні (метод кінцевих елементів). Комплексні моделі можуть мати тисячі дискретних елементів, оскільки кожна поверхня в кімнаті поділяється на зібрання менших зон [34-36]. Результат більше деталізується знанням розподілу світності кімнатної поверхні.

Таблиця 1.2 – Форм-фактори для системи зональної порожнини

RCR	$F_{W \rightarrow W}$	$F_{W \rightarrow C}$ $F_{W \rightarrow f}$	$F_{C \rightarrow W}$ $F_{f \rightarrow W}$	$F_{C \rightarrow f}$ $F_{f \rightarrow C}$
0	0,000	0,500	0,000	1,000
1	0,133	0,434	0,173	0,827
2	0,224	0,388	0,311	0,689
3	0,298	0,351	0,421	0,579
4	0,361	0,320	0,511	0,489
5	0,415	0,292	0,585	0,415
6	0,463	0,269	0,645	0,355
7	0,504	0,248	0,694	0,306
8	0,540	0,230	0,735	0,265
9	0,573	0,214	0,769	0,231
10	0,601	0,199	0,798	0,202

Примітка: Відношення довжини до ширини є 1,6:1.

1.9 Трасування променів за методом Монте-Карло

Одним із недоліків моделей простого потокового балансу є те, що вони можуть моделювати відбиття тільки від абсолютно дифузних поверхонь. Хоча це є адекватним для більшості світлотехнічного розрахунків і архітектурних оздоблень, вони не забезпечують достатню інформацію для встановлення вуальованого відбиття від дзеркальних поверхонь і розрахунку блискавості.

Техніка трасування променів забезпечує більш реалістичну модель поведінки світла, включаючи відбиття від дзеркальних поверхонь і рефракцію на прозорих об'єктах.

Відбиття від дифузних поверхонь може бути апроксимоване відбиттям сотень променів у випадкових напрямках від кожного падаючого променя [6]. Забезпечуючи відповідним ваговим коефіцієнтом у різних напрямках променя падіння і відбиття, довільний розподіл бінаправленого відбиття може бути також змодельованим.

Трасування променів математично еквівалентно перенесенню радіаційного потоку між випромінювачами і приймачами. У той час, як оцінка рівняння (22) дає змогу встановити освітленість кожного елемента поверхні, трасування променів Монте-Карло забезпечує подібне встановлення випадковим точкам на кожній поверхні. Освітленість для елементів поверхні може бути одержано тоді через Монте-Карло інтегрування.

Промені можуть або трасуватися від джерела світла в середовище (фотосимуляція) [6, 39], або від спостерігача в середовище (траєкторне трасування) [23, 38, 39]. Методи фотосимуляції корисні в тому випадку, коли вони забезпечують точні світності для всіх поверхневих елементів в середовищі. Методи траєкторного трасування корисні в тих випадках, коли вони забезпечують яскравість для всіх поверхонь у середині поля спостереження, включаючи вуальуючі й дзеркальні відбиття.

Недоліком техніки трасування променів є те, що до сотень мільйонів променів потрібно оцінити для зменшених варіантів рішень прийнятних рівней. Разом із тим різні статистичні методи можуть бути використані для гарантування, що ці випадково вибрані напрямки променів транспортують на усереднене значення максимуму потоку між поверхнями [6], збіжності рівняння радіаційного перенесення, яке використовує техніку трасування променів, що є типово повільним порівняно з методами кінцевих елементів.

1.10 Програми освітлювальної симуляції

Рівняння радіаційного перенесення може бути вирішено, використовуючи методи кінцевих елементів (радіації), техніку трасування променів і гібридні наближення. Ці наближення колективно належать до алгоритмів глобального освітлення товариства комп'ютерної графіки [23]. На відміну від техніки простішої комп'ютерної графіки, алгоритми глобального освітлення базуються на фізичних принципах. Оскільки вони моделюють фізичну поведінку світла, то можуть бути використані в програмному забезпеченні світлотехнічної симуляції для створення фотореалістичного архітектурного передавання і проводити інженерні освітлювальні розрахунки освітлення.

2 РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ

Світлотехнічні розрахунки взагалі розділяються на дві складові для цілей визначення кількості світла, що досягає точки в просторі. Пряма складова охоплює світло, що досягає точки прямо від світильників і вікон. Перевідбита складова охоплює світло, яке досягає ту саму точку від поверхонь завдяки перевідбиттю.

Пряма складова. Пряма компонента має бути визначена до точок, які мають відношення до робочої поверхні і для будь-яких відбиваючих поверхонь, розглянутих під час аналізу. Вклад до відбиваючих поверхонь використовується для забезпечення стартових умов для перевідбиття. На робочій поверхні пряма складова може мати особливу важливість, тому що це є принципова складова, відповідальна за вуалююче відбиття. Для типових прямих освітлювальних систем пряма складова забезпечує головну частину загальної освітленості на робочій поверхні. Для ситуації зовнішнього освітлення прямою складовою може бути світло, яке сприймає точка. Пряма складова може бути тільки визначена, використовуючи закон обернених квадратів або один із методів поверхневого джерела, якщо світильники є великими порівняно із включеними відстанями. Методи розвинені таким чином, щоб досягти переваги або за особливої геометрії, або за розподілу сили світла [47-51].

Складова перевідбиття. У більшості світлотехнічних розрахунків складова перевідбиття потребує більшого обчислювального часу. Кількість роботи, яка необхідна для вирішення великої матричної задачі, пропорційна квадрату числа включених елементів. Для визначення складової перевідбиття первинна освітленість або пряма складова має бути визначена спочатку на кожному дискретному елементі. Здебільшого значення в центрі кожного

елемента використовується як наближення середньої освітленості вздовж елемента. Якщо елементи суттєво малі, похибка, яка входить у це припущення, буде мінімальною. Великі елементи потребують більш ретельного визначення середньої первинної світності, застосовуючи як методи інтегрування або обчислення кількох точок для одержання середнього.

Визначення складової перевідбиття є критичним у ситуації, коли вона ймовірна, є великою порівняно з прямою компонентою. Ситуації, за яких це може бути, включають зведення, карнизи і непрямі світлотехнічні застосування. Важливо, що схема дискретизації і модель розрахунку, що є використаними для прямої складової, здатні забезпечити розподіл світла, який точно моделює те, що створюється освітлювальною системою [3, 32]. Фотометрія ближнього поля може потребувати сама таких розрахунків [22-42].

У деяких випадках може бути застосована більш менш точна модель перевідбиття. Якщо пряма складова визначено домінує в точці, що становить інтерес для аналізу, можна використати більш найпростіший метод розрахунку складової перевідбиття, включаючи великі й нечисленні кімнатні поверхневі елементи. Коли використовуються великі елементи, важливо пам'ятати, що величина в центрі великої поверхні не обов'язково наближена безпосередньо вздовж неї. Загальний світловий потік, який падає на поверхню, має бути визначеним і тоді, діленням на площину, знаходять середню освітленість поверхні.

За найпростішого наближення, кімната апроксимується трьома поверхнями, як це робиться в методі Люмена, описаному вище і складова перевідбиття розраховується з використанням світностей трьох поверхонь, які одержуються від наближення метода Люмена.

2.1 Коефіцієнт світлових втрат

Коефіцієнти світлових втрат [52-55] узгоджують світлотехнічні розрахунки від контрольованого лабораторного середовища до дійсних польових умов. Вони представляють відмінності вихідного сигналу світильника, світлового потоку лампи і коефіцієнтів відбиття поверхонь між двома рядами умов. Обчислювання, засновані на лабораторних даних, самі по собі, ймовірно, забезпечують нереалістичні високі значення, якщо не видозмінюються коефіцієнтами світлових втрат.

Фактори світлових втрат поділяться на дві групи: відновлювальні і невідновлювальні (табл. 2.1). Відновлювальні фактори є такими, що можуть змінюватися регулярним технічним обслуговуванням, таким, як чищення і заміна ламп у світильнику, чищенням або пофарбуванням кімнатних поверхонь.

Таблиця 2.1 – Фактори світлових втрат

<i>Невідновлювальні фактори</i>	<i>Відновлювальні фактори</i>
Коефіцієнт температури оточення світильника; Тепловий коефіцієнт відбору тепла; Коефіцієнт напруги на світильнику; Коефіцієнт баласту; Фотометричний коефіцієнт баласту лампи; Коефіцієнт функціонування устаткування; Коефіцієнт позиціонування лампи (Θ_{ef}); Коефіцієнт зношення поверхні світильника.	Коефіцієнт зношення світлового потоку лампи; Коефіцієнт зношення забруднення світильника; Коефіцієнт забруднення кімнатної поверхні; Коефіцієнт перегорання лампи.

Невідновлювальні фактори є такими, які належать до устаткування й умов знаходження і не можуть бути змінені нормальною експлуатацією.

2.2 Невідновлювальні фактори

Невідновлювальні фактори не контролюються процедурами світлотехнічного обслуговування. Деякі вже існують і продовжуються весь час від встановлення, або є малодійними, які немає необхідності коригувати, або надто вартісні для коригування. Проте всі вони повинні бути вивчені, тому що вони можуть послаблювати запланований світловий вихід від освітлювальної системи.

Коефіцієнт температури оточення світильника. Вплив температури оточення на світловіддачу деяких люмінесцентних ламп світильників є значним. Зміна температури в середині діапазону температури, за якого стикаються у внутрішніх приміщеннях, мало впливає на світловіддачу ламп розжарювання і високоінтенсивних розрядних ламп світильників, проте суттєво впливає на світловіддачу люмінесцентних світильників. Коефіцієнт зовнішньої температури світильника є частковою втратою світлового потоку люмінесцентного світильника, зумовленою тим, що внутрішня температура світильника відрізняється від температури, за якої фотометрія була проведена. Цей коефіцієнт необхідно взяти до уваги за будь-якої зміни температури навколо світильника, засобів і умов монтування світильників і використання будь-якої ізоляції в з'єднанні із застосуванням світильника.

Узагалі, дані щодо цих коефіцієнтів не завжди надаються виробниками світлотехнічної продукції, проте виконавець може встановити дані на слідуючій основі. Фотометрія світильника проводиться за температури оточуючого повітря 25 °С. Для кожного ступеня підвищення оточуючої температури вище цього значення, температура холодної плями на люмінесцентній лампі зростає приблизно на 0,6°. Вплив підвищення темпе-

ратури лампи може бути встановлено із документації виробника, визначаючи, що лампи в світильниках узагалі діють за температур більших, ніж оптимальна. Критичний підхід має бути застосований до таких факторів, як вплив відкритої версії закритих світильників, можливий рух повітря, і факт, що вентиляція має більший ефект, ніж кімнатна температура світильника.

Тепловий коефіцієнт відбору тепла. Люмінесцентні світильники з кондиціонуванням повітря інтегруються з системою кондиціонування як засіб введення або видалення повітря. Це впливає на температуру лампи і відповідно на світловий потік лампи. Тепловий фактор відбору тепла є частковою втратою світлового потоку або підсиленню завдяки повітряному потоку. Узагалі виробники забезпечують певні світильники даними випробувань за цим фактором за різними повітряними потоками. Типово, коефіцієнт апроксимується постійним значенням за повітряних потоків, які знаходяться в діапазоні від 10 до 20 $\text{фт}^3/\text{хв}$ через лампове відділення світильників.

Коефіцієнт напруги на світильнику. Напругу для обслуговувань важко передбачувати, проте висока або низька напруга на світильнику впливає на світлову віддачу більшості світильників. Для лампи розжарювання відхилення напруги на 1 % викликає приблизно 3 % зміни світлового виходу. Для світильників із ртутними лампами, що мають баласт із високореактивним опором зміни в світловому виході приблизно 6 % на кожен 1 % зміни в первинній напрузі від нормальної напруги баласту.

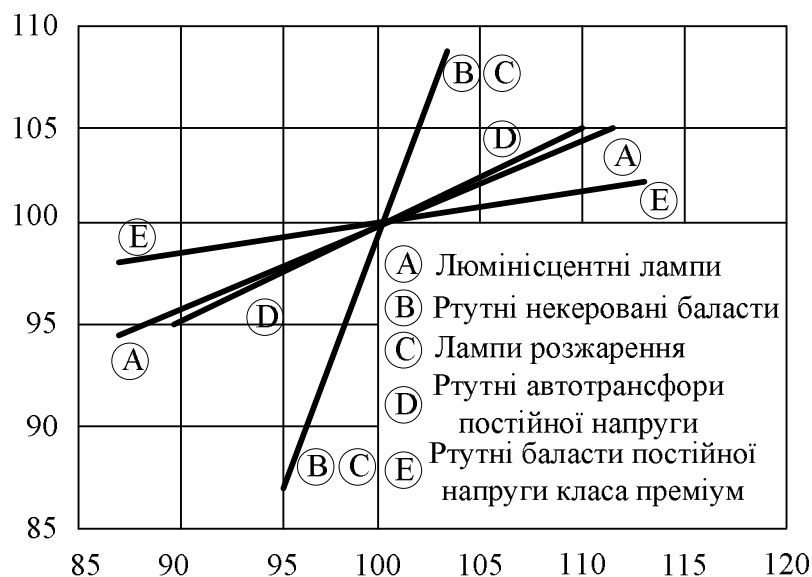


Рисунок 2.1 – Зміна світлового виходу зі зміною напруги

Коли використовуваний баласт є зрегульованим виходом, світловий вихід ламп відносно незалежний від первинної напруги в середині спроектованого діапазону. Світловий вихід люмінесцентних світильників, які

використовують серійні магнітні баласты, змінюється приблизно 1 % на кожні 2,5 % зміни в первинній напрузі. Такі зміни в графічній формі показано на рисунку 2.1. Різні характеристики належать до енергозберігаючих магнітних баластів і залежать від специфічних конструкторських параметрів.

Коефіцієнт баласту. Світловий потік люмінесцентних ламп залежить від баласту, що використовується для керування лампами. Світловий потік від ламп із комерційними баластами взагалі відрізняється від таких ламп, які використовують еталонні баласты з метою визначення нормованого світлового потоку. Із цієї причини мультиплікативний коефіцієнт баласту потребується для коригування номінально нормованого світлового потоку лампи до дійсних характеристик світильника. Коефіцієнт баласту є частковий потік люмінесцентної лампи або ламп, які працюють на фактичних баластах, поділений на потік, коли діє еталонний баласт для нормування світлового виходу ламп. Коефіцієнт баласту визначається відповідно до Американських національних стандартів та Методів вимірювання баластів люмінесцентних ламп [56]. Значення коефіцієнтів баласту відомі [57]. Зазначимо, що у разі використання несертифікованих баластів можуть бути отримані недостовірні дані.

Коефіцієнт баласту так само залежить від лампи, як і від самого баласту. Зважаючи на це коефіцієнт баласту, розроблений для еталонної лампи, не застосовується, якщо, наприклад, використовується енергозберігаюча лампа, навіть коли баласт той же самий. Магнітні баласты, що мають ярлик виробника Сертифікованих баластів (Certified Ballast Manufactures – CBM) мають коефіцієнт баласту такий, що є не менше ніж 0,925 для еталонних 30 і 40 W ламп швидкого старту; коефіцієнт баласту для них часто встановлюють між 0,94 і 0,95. Коефіцієнт баласту для високо навантажених швидкого старту ламп є 0,95 і для різних низьковольтних ламп є 0,90.

Проте, Національний інститут стандартів Америки (ANSI) [56] тестовий метод для коефіцієнта баласту визначає таким чином, що тест має проводитися для холодному баласту (для зручності тестування). Суттєве зростання температури виникає у разі дії баластів у світильниках). Це спричинює додаткові втрати світлового потоку близько 1,5 %, проте значення таких, як 2,5 до 3,5 % повинні бути відмічені.

Отже, помірна оцінка для діючого баласту, сертифікованого CBM, має бути 0,93.

Фотометричний Коефіцієнт Баласт-Лампа. Фотометрію світильників із люмінесцентними лампами проводять за стандартної температури довкілля 25 °C. Температура лампи відрізняється від цього значення, коли визначається нормований світловий потік лампи. Послідовна зміна світлового потоку

лампи від нормованого світлового потоку об'єднується в фотометричні дані. Температура лампи в середині світильника залежить від комбінації баласту (стандартний магнітний, енергозберігаючий магнітний або електронний) і ламп (стандартного навантаження, пониженої потужності, енергоефективності). Із цієї причини фотометричні дані застосовуються тільки для певних ламп і типів баластів, які використовуються під час тестування. Вони також застосовуються до таких визначуваних даних, як коефіцієнт використання і коефіцієнти світності. Варіації світлового потоку викликають зміну величини, але не просторовий розподіл сили світла люмінесцентного світильника. Зважаючи на це, всі фотометричні дані можуть бути скориговані мультиплікативним коефіцієнтом для типів баласту і ламп, які відрізняються від тих, що використовувалися під час фотометричних випробувань. Цей коефіцієнт є баласт-лампа фотометричний коефіцієнт і вимірюється для специфічної комбінації баласт-лампа щодо тієї, яка використовується в фотометрії світильників. Значення для нього можливо мати як частину звіту фотометрії світильника або від виробника. Зазначимо, що цей коефіцієнт включає узгодження для лампи і баласту змін за температури фотометричного випробування 25 °С. Коефіцієнт температури оточення світильника є окремим коригуванням для відмінностей між лабораторною й очікуваною температурою розташування світильника.

Коефіцієнт функціонування устаткування. Світловий вихід лампи високоінтенсивного розряду (HID) залежить від баласту, положення функціонування лампи і дії потужності, відбитої від світильника назад у лампу. Ці ефекти загально об'єднуються в коефіцієнт функціонування устаткування (Equipment Operating Factor – EOF), який визначається як відношення потоку від об'єднання HID – лампа-баласт-світильник у цьому положенні функціонування до потоку комплексу: лампа-світильник, що працює в позиції з нормованими значеннями лампи і використанням стандартного (еталонного) баласту для нормування світлового виходу лампи.

Коефіцієнт функціонування устаткування визначається відповідно до IES методу визначення коефіцієнтів функціонування сполучення світильник-лампа-баласт для світильників із лампами високоінтенсивного розряду [58].

Коефіцієнт положення лампи або Фактор нахилу. Для ламп високоінтенсивного розряду коефіцієнт положення лампи це відношення потоку лампи високоінтенсивного розряду в даному робочому положенні до потоку лампи працюючої в положенні, при якому розраховано кількість люменів. Цей фактор визначається при постійній потужності лампи і складає частину фактора працюючого обладнання. Фактор нахилу розумно узгоджується для

типів ртутної лампи. Проте, для металогалогенних ламп вона варіюється від лампи до лампи і залежить від операційної історії. Таким чином, це насправді не константа навіть для заданої лампи [59, 60]. Рисунок 2.2 представляє типові середні дані для коефіцієнта положення лампи.

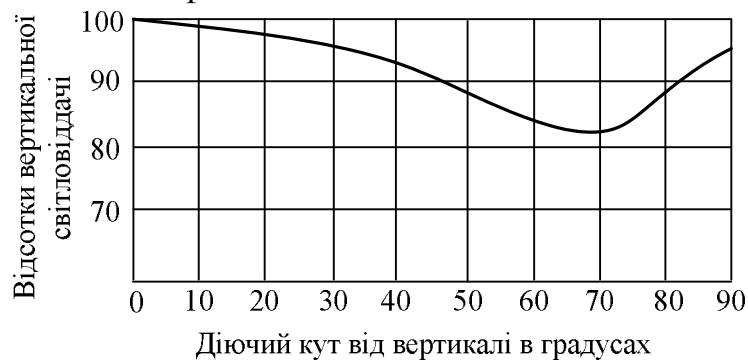


Рисунок 2.2 – Світловий вихід ламп високоінтенсивного розряду як функції положення функціонування

Коефіцієнт зношення поверхні світильника. Зношення поверхні світильника є результатом незворотніх змін у металі, фарбі й пластикових компонентах, що призводить до зменшення світлової віддачі. Скляні поверхні, порцелянові або оброблені алюмінієм мають дуже малі зношення і можуть бути відновлені до початкового коефіцієнта відбиття. Запечені емалевіта інші пофарбовані поверхні мають постійне зношення, оскільки всі фарби є деякою мірою шпаристими. Серед пластиків акрилан меншою мірою чутливий до зміни, проте коефіцієнт проходження може бути зменшений у разі використання в період від 15 до 20 років у певній атмосфері. Для того самого використання, полістеран має нижчий коефіцієнт проходження, ніж акрилан і зношується швидше.

Оскільки складна залежність між світлоконтролюючими елементами світильників, що використовують більш ніж один тип матеріалів (таких, як лінзовий трофер) важко передбачити втрати, пов'язані із погіршенням стану матеріалів. Для світильників з одним типом поверхні тип атмосфери в розміщенні також впливає на втрати. Коефіцієнтів для цього впливу, які могли бути представлені, не має.

2.3 Відновлювальні коефіцієнти

Відновлювальні коефіцієнти завжди необхідно розглядати під час визначення коефіцієнта повної світлової втрати. Величина кожного залежить від регламентів технічного обслуговування, які повинні використовуватися на додаток до фізичного середовища, ламп, і світильників, де вони мають розташовуватися.

Коефіцієнт зношення світлового потоку лампи. Світловий вихід ламп

змінюється поступово і перервно на протязі циклу експлуатації, навіть у постійних умовах експлуатації. Майже у всіх випадках світловий потік спадає. Коефіцієнт зношення світлового потоку лампи (Lamp Lumen Depreciation – LLD) є частина початкового світлового потоку, виробленого за певний час на протязі терміну роботи. Інформація про LLD як функцію часу дії лампи є в наявності у виробничих таблицях і графіках для зниження світлового потоку і виходу із ладу вибраних ламп. Нормований середній термін використання має бути визначений для очікування кількості годин від початку, оскільки таку інформацію необхідно знати, якщо перегорання починається в циклі терміну використання лампи. Практичний цикл групи заміни ламп може бути встановлений із цих коефіцієнтів, і тоді LLD коефіцієнт може бути визначений, заснований на годинах, пройдених до усунення лампи. Рекомендованим критерієм для заміни лампи для обох груп і відміткою програми заміни лампи 70 % середнього нормованого терміну використання. Необхідно зазначити, що деякі електронні баластні системи компенсують зміни світлового потоку лампи під час експлуатації або усередненим коригуванням, або контролем завдяки оберненому зв'язку.

Коефіцієнт зношення внаслідок забруднення світильника. Акумуляція бруду на світильнику призводить до втрати світлового виходу, і тим самим до втрат на робочій поверхні. Ця втрата відома як коефіцієнт зношення внаслідок забруднення світильника (Luminaire Dirt Depreciation – LLD) і визначається у такий спосіб:

1. Категорія технічного обслуговування вибирається із даних виробника або за допомогою таблиці 2.2.

2. Атмосферу (один із п'яти ступенів брудних умов), у якій експлуатується світильник, знаходять у наступний спосіб. Бруд в атмосферу надходить від двох джерел: той, що приходить від сусіднього повітря, і той, що генерується виконанням роботи в околиці. Бруд може бути класифікований як липкий (притягальний або інертний) і може надходити від пересувного або постійного джерела. Липкий бруд чіпляється до поверхонь світильника за їх клейкістю, у той час як притягальний бруд тримається електростатичною силою. Прикладами липкого бруду є жир від приготування, частинки від дії машини, такі як пари олії, частинки, що відносяться парою води при випаровуванні від топлення металу або електролітичних ванн. Прикладами притягального бруду є волосся, пух, волокно і сухі частинки, які електростатично заряджені від працюючих машин. Прикладами інертного бруду є такі неприклеювальні, не заряджені частинки, як суха мука, дерев'яний пил і зола. На рисунках 2.3 і 2.4 подано

дані, які можуть бути корисними для оцінки атмосфери. На рисунку 2.4 подано дані, за якими можна оцінити категорію забруднення атмосфери. Коефіцієнти з 1 до 5 мають бути оцінені й встановлені в полі таблиці, оскільки вони потребують опису умов простору. Стовбець «Сусідня зона до Робочої зони» становить відокремлену зону, сусідню до тієї зони, у якій діє світильник (яка є «Зона, що оточує Робочу»). Стовбець «Фільтровий фактор» уміщує проценти бруду, яким дозволено перейти від сусідньої атмосфери до оточуючої атмосфери. Стовбець «Від сусідньої» вказує чисту вагу такого бруду, який може перейти. Ця категорія могла містити, наприклад, відкрите вікно з фільтровим фактором 1,0 (без фільтрування зовсім) або систему кондиціонування повітря з фільтровим фактором в 0,1 (90 % бруду фільтрується зовні. Загальне всіх чисел у стовбці «Частковий підсумок» є число вверх до 60 і може бути переведено в категорію застосовної брудної атмосфери, внесено внизу таблиці.

3. LDD коефіцієнт знаходять із кривої відповідної категорії обслуговування світильника на рисунку 2.3, кривої застосовної умови бруду і власного пройденого часу за місяць запланованого циклу очищення. Наприклад, якщо категорія 1, атмосфера є брудною і чищення відбувається кожні 20 місяців, то LDD є приблизно 0,80. Альтернативна процедура до рисунка 2.3 є використання підібраного рівняння.

Таблиця 2.2 – Процедура визначення категорій обслуговування світильника

<i>Категорія обслуговування (експлуатації)</i>	<i>Верхнє огородження</i>	<i>Нижнє огородження</i>
1	2	3
I	Ні	Ні
II	1. Ні. 2. Прозорий з 15 % або більше світла через апертуру 3. Прозорий з 15 % або більше направлено вверх світла через апертри 4. Непрозорий з 15 % або більше направлено вверх світла через апертури	1. Ні 2. Екрануюча решітка або екрани
III	1. Прозорий з меншими ніж 15 % направлено вверх світла через апертури 2. Прозорий з меншими, ніж 3. Непрозорий з меншими, ніж 15 % направлено вверх світла через апертури	1. Ні 2. Екрануюча решітка або екрани
IV	1. Прозорий безапертурний 2. Прозорий безапертурний 3. Непрозорий безапертурний	1. Ні. 2. Екрануюча решітка

1	2	3
V	1. Прозорий безапертурний 2. Прозорий безапертурний 3. Непрозорий безапертурний	1. Прозорий безапертурний 2. Прозорий безапертурний
VI	1. Ні. 2. Прозорий безапертурний 3. Прозорий безапертурний 4. Непрозорий безапертурний	1. Прозорий безапертурний 2. Прозорий безапертурний 3. Непрозорий безапертурний

Примітка: Для спрощення у визначенні коефіцієнтів зношення світильника через бруд (Luminaire Dirt Deprecation – LDD), світильники розділяються на шість категорій (від 1 до 6). Водночас світильники доволіно поділяються на секції (верхнє огороження, нижнє огороження), проводячи горизонтальну лінію через світловий центр лампи або ламп. Характеристики, внесені в перелік для огороження, тоді вибираються як для кращого описаного світильника. Тільки одна характеристика для верхнього огороження і одна для нижнього огороження має бути використана для визначення категорії світильника. Процентність направлено вгору світла заснована на 100 % для світильника. Категорія обслуговування визначається тоді, коли є характеристики в обох стовпцях огорожень. Якщо світильник потрапляє в більш ніж одну категорію, використовується нижча за числом категорія.

$$LDD = e^{-At^B}, \quad (31)$$

де константи A і B знаходяться із таблиці 2.5, заснованої на категорії технічного обслуговування світильника, t є час у децимальних роках (тобто 1.....6, то заноситься як 1,5 роки)

Коефіцієнт зношення внаслідок забруднення поверхні кімнати (Room Surface Dirt Depreciation – RSDD). Осідання бруду на кімнатних поверхнях знижує величину світлового потоку, відбитого і перевідбитого до робочої поверхні. На рисунку 2.4 показано, як забезпечити використання коефіцієнта зношення внаслідок забруднення поверхні кімнати для розрахунку встановленого середнього рівня освітленості. Ці коефіцієнти встановлюються у наступний спосіб:

1. *Із однієї із п'яти кривих у таблиці 2.5 знаходяться очікувані зношення, використовуючи таблиці 2.3, 2.4 як керівництво з умов атмосферного бруду разом із встановленням часу між чищеннями. Наприклад, якщо атмосфера є брудною і кімнатні поверхні очищають кожні 24 місяці, очікуване зношення внаслідок забруднення є приблизно 30 %.*

2. *Знаючи очікуване зношення через забруднення (крок 1), тип розподілу світильника і відношення кімнатного приміщення визначають коефіцієнт зношення внаслідок забруднення кімнатної поверхні із таблиці 2.6. Наприклад, для зношення через забруднення в 30 % для прямого світильника, і відношення кімнатного приміщення в 4 відповідно, коефіцієнт RSDD має бути 0,92.*

Таблиця 2.3 – Оцінка дії атмосфери

Тип бруду*	Сусідня зона до Робочої зони			Фільтровий коефіцієнт (відсотки пройденого бруду)	Оточуюча Робоча зона			Частковий
	Бруд, що переміщується	Постійний бруд	Повний		Від сусідньої	Бруд, що переміщується	Постійний бруд	
Липкий бруд	+	=	x	=	+	+	=	
Притягнутий бруд	+	=	x	=	+	+	=	
Інертний бруд	+	=	x	=	+	+	=	
Повний коефіцієнт бруду 0 – 12 = дуже чистий	13 – 24 = чистий			25 – 36 = середній		37 – 49 = брудний		49 – 60 = дуже брудний

Примітка: Дивись крок 2 для LDD. Коефіцієнти для використання в таблиці є:

1. Найбільш чисті умови.
2. Чисті, але не найчисті.
3. Середні.
4. Брудні, але не найбрудніші.
5. Найбільш брудні.

Таблиця 2.4 – П'ять ступенів брудних умов

Тип бруду*	Дуже чистий	Чистий	Середній	Брудний	Дуже брудний
Генерований бруд	Ні	Дуже малий	Помітний, але неважкий	Накопичується швидко	Постійне накопичення
Оточуючий бруд	Ні (або немає вхідної поверхні)	Деякий (майже не входить)	Деякий один через поверхню	Велике число виходить через поверхню	Майже не виключений
Бруд, що переміщується	Зразковий	Краще ніж середнє	Більше ніж середнє	Тільки вентилятори	Ні
Липкість	Ні	Слабкий	Достатньо видимий після декількох місяців	Висока можливість, викликаний олією, вологістю або статикою	Висока
Приклади	Високого рівня офіси, не має близько виробництва, лабораторії, чисті кімнати	Офіси в старих будівлях або близько до виробництва, світлові ансамблі, інспекція	Паперове виробництво, поштові офіси, механічне оброблення	Теплове оброблення, високошвидкісний друк, гумове виробництво	Подібно до брудного, але світильник у середині без попереднього простору забруднення

Коефіцієнт перегорання лампи (Lamp Burn-out Factor – LBO). Перегорання лампи робить внесок у світловитрати. Якщо лампа не замінюється швидко після перегорання, середня освітленість зменшується пропорційно. В деяких випадках більш ніж просто непридатна лампа може бути втрачена.

Наприклад, коли використовується ряд послідовних люмінесцентних баластів і одна лампа виходить із ладу, усі лампи не працюють. Коефіцієнт перегорання лампи (LBO) є відношення кількості ламп, що залишаються світити, до повної, максимальної кількості дозволених перегорань.

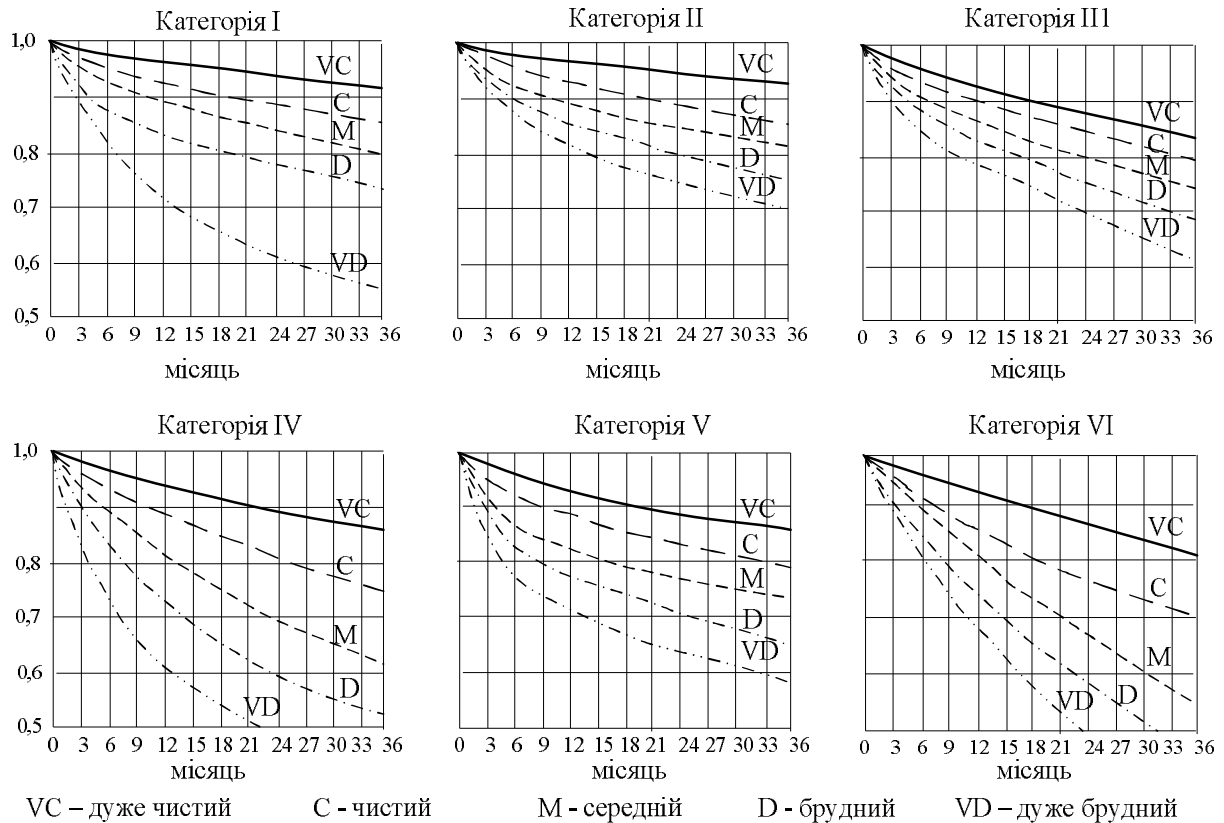


Рисунок 2.3 – Коефіцієнти зношення світильників із-за бруду для шести категорій світильників і п'яти ступеней забрудненості (за табл. 2.2 або 2.3)

Таблиця 2.5 – Константи зношення світильника із-за забруднення, які використовуються для LDD для шістьох категорій світильників і п'яти ступенів забруднення

Категорія обслуговування світильника	В	А				
		Дуже чистий	Чистий	Середній	Брудний	Дуже брудний
I	0,69	0,038	0,71	0,111	0,162	0,301
II	0,62	0,033	0,68	0,102	0,147	0,188
III	0,70	0,079	0,106	0,143	0,184	0,236
IV	0,72	0,070	0,131	0,216	0,314	0,452
V	0,53	0,078	0,128	0,190	0,249	0,321
VI	0,88	0,076	0,145	0,218	0,284	0,396

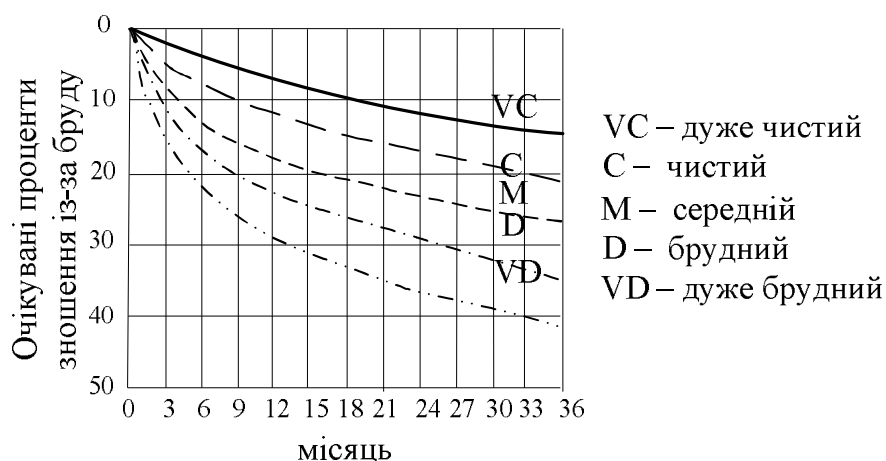


Рисунок 2.4 – Зношення світильника із-за бруду. Константи використовується для розрахунку LDD за шістьма категоріями ламп і п'ятьма ступенями забрудненості

Статистика виходу із ладу ламп від виробників повинна врахуватися в експлуатаційних характеристиках кожного типу лампи з метою визначення очікуваного перегорання раніше, ніж досягнув час заміни. На практиці, число перегорілих ламп є відбиттям якості програми світлотехнічних сервісів.

Таблиця 2.6 – Коефіцієнти зношення із-за бруду кімнатної поверхні (Очікувані проценти зношення із-за бруду)

Коефіцієнт порожнини кімнати	Тип розподілу світильника																			
	прямий				напівпрямий				прямий непрямої				напівпрямий				непрямої			
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
1	,98	,96	,94	,92	,97	,92	,89	,84	,94	,87	,80	,76	,94	,87	,80	,73	,90	,80	,70	,60
2	,98	,96	,94	,92	,96	,92	,88	,83	,94	,87	,80	,75	,94	,87	,79	,72	,90	,80	,69	,59
3	,98	,95	,93	,90	,96	,91	,87	,82	,94	,86	,79	,74	,94	,86	,78	,71	,90	,79	,69	,58
4	,97	,95	,92	,90	,95	,90	,85	,80	,94	,86	,79	,73	,94	,86	,78	,70	,89	,78	,87	,56
5	,97	,94	,91	,89	,94	,90	,84	,79	,93	,86	,78	,72	,93	,86	,77	,69	,89	,78	,66	,55
6	,97	,94	,91	,88	,94	,89	,83	,78	,93	,85	,78	,71	,93	,85	,76	,68	,89	,77	,66	,54
7	,97	,94	,90	,87	,93	,88	,82	,77	,93	,84	,77	,70	,93	,84	,76	,68	,89	,76	,65	,53
8	,96	,93	,89	,86	,93	,87	,81	,75	,93	,84	,76	,69	,93	,84	,76	,68	,88	,76	,64	,52
9	,96	,92	,88	,85	,93	,87	,80	,74	,93	,84	,76	,68	,93	,84	,75	,67	,88	,75	,63	,51
10	,96	,92	,87	,83	,93	,86	,79	,72	,93	,84	,75	,67	,92	,83	,75	,67	,88	,75	,62	,50

Коефіцієнт повної світлової втрати (Total Lighting Loss Factor – LLF) є просто результат від усіх складових коефіцієнтів, описаних вище. Коли коефіцієнти невідомі або не застосовуються, вони припускаються рівними одиниці. Якщо повний коефіцієнт надмірний, це може бути бажаним для переобрання світильника.

3 СТАТИСТИЧНІ ВЕЛИЧИНИ

Для світлотехнічних розрахунків і системного моделювання важливо, щоб відповідний метод застосовувався для виявлення системних характеристик. Якщо використовується неадекватна модель, результат може бути неточним.

Отже, конструктор має бути обізнаний з можливостями і обмеженнями різних модельних опцій та їхніх застосувань.

3.1 Середні

Середнє значення є найпростіший шлях визначення експлуатаційної характеристики освітлювальної системи. «Середнє» звичайно належить до значення кількох розрахованих або вимірних значень. Більше число величин, значить точніше значення середнього. Звичайно використовується сітка обчислювань або вимірних точок, часто формується прямокутна побудова рядків і стовпців. Розташування точок визначається необхідною точністю середнього. Точність середнього від розрахованої або вимірної сітки може бути встановлена подвоюванням кількості точок у сітці і визначенням розміру зміни середнього. Велика зміна може вказувати на необхідність більшої кількості точок. Цей процес може бути повторений до тих пір, коли зміна середнього є достатньо малою, що вказує на досягнення достатньої точності.

Середнє може бути точним, але не вказувати на зміну в значеннях. Із цієї причини середня освітленість (або середнє будь-якої іншої одиниці) має бути використана тільки, коли розподіл очікується бути відносно однорідним за поверхнею. Коли локалізована освітлювальна система, наприклад, як для приймальної контори у вестибюлі, отримуємо двохмодальні або багатомодальні розподіли, то в цьому випадку метод середнього значення не може бути використаним. Середнє значення може бути використано для проектування системи для загального циркулярного простору, проте для робочої поверхні має бути використаний розрахунок індивідуального точкового джерела для характеризувати робочого освітлення.

Узагалі середнє значення само по собі є недостатнім для повного опису або оцінки характеристики освітлювальної системи. Інформація про однорідність освітлювання є важливою також. Наступні два підпункти розглядають методи описування однорідності освітленості в просторі.

3.2 Мінімум і максимум

Якщо використовується велика кількість аналізованих точок для розрахунку, тоді варіативність освітлювання може бути оцінена і можуть бути визначені й розміщені мінімальні і максимальні значення. Мінімум і максимум можуть бути важливими індикаторами якості проекту, зокрема, якщо вони суттєво відхиляється від бажаного середнього. У деяких проектних ситуаціях, максимальне і мінімальне проектне значення можуть бути точно визначеними. За оцінюванням чи є окремий проект прийнятним, важливо сфокусуватися на критичній робочій поверхні в середині простору. Мінімум часто трапляється вздовж периметра кімнати або освітлюваного простору, де робоча поверхня може не бути розташована. Рівні, нижче рівня плану, можуть бути прийнятними, якщо вони не є фактичними для розташування робочих завдань. В інших проектних ситуаціях максимальне значення може бути критичним. Наприклад, може бути небажаною яскравість кімнатної поверхні, яка перевищує окремі значення. Це у випадку освітлювальних рекомендацій для просторів із візуальними дисплейними терміналами. Однорідність часто виражається в термінах відношення двох величин. Прикладами є відношення максимуму до мінімуму, максимуму до середнього і середнього до мінімуму. Різні проектні ситуації гарантують різні використання цих вимірювань.

3.3 Критерій оцінок

Максимальне і мінімальне значення надають незначну інформацію про весь розподіл певної фотометричної або похідної величини в просторі. Критерій оцінювання є зручним способом для отримання більшої кількості деталей відносно розподілу величини в просторі. Критерій оцінки є ймовірність, з якою характерний критерій задовольняється або перевищується будь-де всередині визначеного простору. Він може бути використаний на додаток (або замість) таких концепцій, як середній, мінімальний і максимальний рівні. Освітлювальні критерії, до яких цей засіб може бути застосований, включає яскравість, освітленість, ймовірність зорового комфорту (Visual Comfort Probability – VCP), візуальну метрику і характеристики візуальної метрики. Критерій оцінки припускає назву критерія, який нормується. Наприклад, критерій оцінки освітленості називається оцінка освітленості, для VCD оцінка ймовірності візуального комфорту. Будемо вважати, наприклад, що освітленість в 500 лк встановлена як проектний критерій для простору. Оцінка освітленості визначає ймовірність, що освітленість дорівнює або більше 500 лк у будь-якій точці на

робочій площині. Цей критерій оцінки визначається через оцінювання відповідної величини (розрахунок або вимірювання) за сіткою точок, що покривають простір, за запитом. Відстань між точками оцінювання не повинна перевищувати однієї п'ятої відстані від будь-якого світильника до площини оцінювання. Відсоток точок, які відповідають критерію, є критерій оцінки:

$$\text{Критерій оцінки} = \frac{(\text{кількість точок, що задовільняють критерію}) \cdot 100 \%}{\text{кількість точок, обчислених або виміряних}}, \quad (32)$$

Критерії оцінок можуть бути виражені, використовуючи позначення, які вносять у список оцінки, у відсотках, що відповідають критерію, виділених символом @, який стоїть для «при». Наприклад, освітлювальна система створює яскравість 20 кд/м² у 60 % визначеної поверхні може мати її яскравісну оцінку, виражену як 60 %@20 кд/м². Для таких безрозмірних критеріїв, як контраст або ймовірність VCR, стенографічна форма для критерію оцінки має містити назву і величину критерію, наприклад 92%@70VCR означає, що 92 % простору має VCR 70 або краще. Проектант визначає бажане покриття поверхні для певного критерію величини.

24	28	35	45	52	58	6	60
24	29	38	5	53	55	60	63
23	28	38	50	53	55	60	63
23	28	36	48	51	52	54	55
24	29	38	51	53	55	58	59
22	27	34	44	48	51	54	55
23	28	35	48	51	54	57	58
24	28	38	52	53	56	59	60
24	29	40	55	55	58	62	64
23	25	37	50	52	54	56	57
20	23	32	44	49	47	50	54
18	22	30	37	42	45	48	49

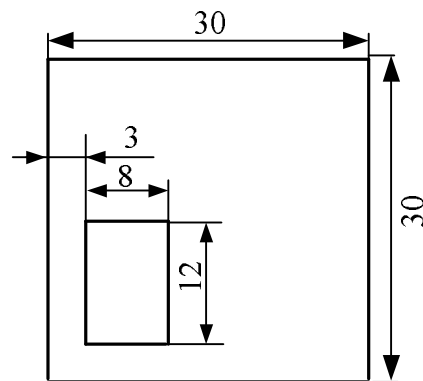


Рисунок 3.1 – Приклад розгляду критерію оцінки. Числа в сітці представляють обчислені освітленості в фк, у центр кожної фут² екранованої частини робочої площини

Як приклад використання засобу критерію оцінки (використовуючи фут як одиницю довжини), розглянемо квадратну кімнату із стороною в 30 фут на стороні, як показано на рисунку 3.1, із висотою стелі у 8 футів, 3 фута висоти робочої площини, і втопленими світильниками. Табульовані значення на рисунку 3.1 є розрахованими освітленостями у 8 × 12 фут у затемненому просторі. У затемненому просторі необхідною освітленістю є 50 лк. Відстанню від робочої площини до світильників є 50 фут (8 фут – 3 фут).

Отже, відстань між рядами і стовпцями аналізованих точок має бути не більше ніж 1 фут (5 фут/5). Для визначення критерію оцінки розраховані величини освітленості перевіряються на критерій узгодження. Знаходять, що 47 із 96 місць одержують освітленість 50 фут і більше. Оцінка освітленості цієї освітлювальної системи для затемненого простору тоді буде 48,9 % ($47/96 \cdot 100$ %). Це можна виразити як 48,9 %@50фк (фк– фут-кандела – 10,764 лк).

4 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ВЕЛИЧИН

4.1 Освітленість

Освітленість є однією із фундаментальних величин, яка використовується під час проектування і оцінювання освітлювальних систем. Для того щоб визначити пряму освітленість у точці на поверхні, необхідно визначити, який метод точкового або поверхневого джерела необхідно застосувати до ситуації. Щоб одержати повну освітленість у будь-якій точці або на поверхні, мають бути визначені перевідбиті складові й додані до прямої компоненти (див. приклади 2, 3, і 4 у розділі: «Приклади основних світлотехнічних розрахунків»).

4.2 Яскравість

Як первинний візуальний стимул яскравість є найбільш важливою і корисною розрахунковою величиною. Однією із найбільш простих ситуацій, за якої яскравість має бути розрахована, є оцінювання візуальних робочих завдань, таких як друк на папері. Методи для оцінювання візуальної характеристики або видимості робочого завдання потребують для завдання контрасту, розміру й адаптації величини яскравості. Яскравість як робочого завдання (L_t), так і фона (L_b) необхідні для визначення контрасту робочого завдання. Величини (L_t) і (L_b) є специфічними для робочого завдання розташування, умови освітлювання й орієнтації спостерігача (див. приклад 6 і 7 нижче).

Розрахунки яскравостей проводяться в кожному разі, коли необхідно обчислити яскравість поверхні з направлено чутливим коефіцієнтом відбивання. Модель розрахунку, яка обчислює яскравість, має бути здатною визначити яскравість у будь-якій точці. Немає потреби у тому, щоб будь-який даний метод був здатний брати до уваги всі можливі діапазони визначених нище дев'яти параметрів, будь-яке обмеження, застосоване до цього метода, має бути адекватно оцінене:

– розмір і конфігурація кімнати;

- коефіцієнти відбиття кімнатної поверхні;
- характеристики світильника;
- кількість і розташування світильників;
- природа певної поверхні розташування спостерігача, лінія зору, кут спостереження;
- природа і яскравість усіх інших поверхонь в оточенні, типові ефекти тіл;
- поляризаційні ефекти.

Зважаючи на складність розрахунку яскравості, обчислювання звичайно проводяться за допомогою комп'ютера.

Яскравість у деякому місці світлового середовища становить:

$$L = \int dE(\Theta, \Psi) f_r(\Theta, \Psi), \quad (33)$$

де L – яскравість у точці на поверхні в певному напрямку спостереження;

Θ, Ψ – сферичні координати;

$dE(\Theta, \Psi)$ – диференціал освітленості в точці площини поверхні в напрямі, вказаному (Θ, Ψ) ;

$f_r(\Theta, \Psi)$ – функція розподілу бінаправленого коефіцієнта відбиття матеріалу поверхні в певному напрямку спостереження.

На рисунку 4.1 подані необхідні координати для цього розрахунку.

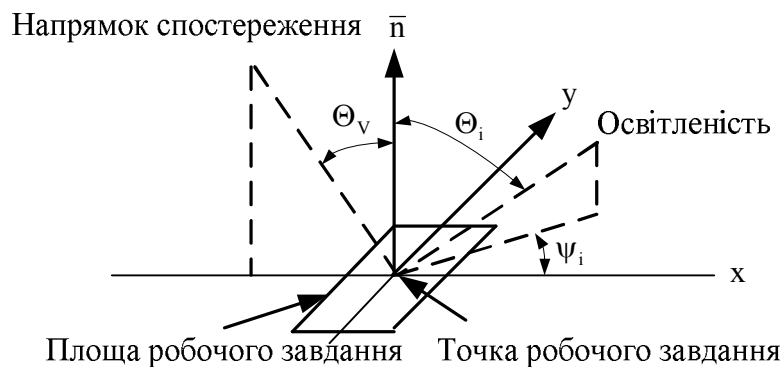


Рисунок 4.1 – Робоче завдання і координати освітленості

Цей вираз представляє повний ефект усіх складових освітленості, помножених на відповідний BRDF для отримання яскравості поверхні. BRDF залежить від характеристик коефіцієнта відбиття поверхні, кута спостереження і розміру джерела світла, який використовується для вимірювання. Необхідно зазначити, що на відміну від абсолютно дифузних коефіцієнтів відбиття BRDF чутливий як до кута падіння світла, так і напрямку спостереження. Це може бути виражено як

$$f_r(\Theta_v, \Psi_v, \Theta_i, \Psi_i),$$

де індекс i означає напрямок падіння, а v - напрямок спостереження. У багатьох випадках потребується тільки різниця в азимутальному куті між падаючим і вихідним напрямками. Тоді BRDF стає

$$f_r(\Theta_v, \Theta_i, \Psi_i),$$

де Ψ_i є різниця в азимутальному куті між напрямом падіння і вихідним. Це спрощення неможливо для таких неаксіальноізотропних матеріалів, як щітковані металеві поверхні. У таких випадках азимутальний кут падіння і кут спостереження не можуть бути відносними, проте повинні мати фіксовану орієнтацію відносно поверхні. Для багатьох поверхонь, проте може бути зроблене спрощення і рівняння для яскравості стає:

$$L(\Theta_v) = \int dE(\Theta_i, \Psi_i) f_r(\Theta_v, \Theta_i, \Psi_i). \quad (34)$$

Кут спостереження Θ_v вважають постійним. Деякі поверхні чутливі до поляризації, тоді можливо розділити BRDF на дві ортогональні компоненти, пов'язані з ортогональними площинами поляризації (p_1 і p_2) BRDF є

$$\begin{aligned} f_{rp_1}(\Theta_v, \Theta_i, \Psi_i), \\ f_{rp_2}(\Theta_v, \Theta_i, \Psi_i). \end{aligned}$$

У додатковій формі дві ортогональні компоненти освітленості можуть розглядатися окремо і позначатися dE_{rp1} і dE_{rp2} . Це дає

$$L(\Theta_v) = \int [dE_{p_1}(\Theta_i, \Psi_i) f_{rp_1}(\Theta_v, \Theta_i, \Psi_i) + dE_{p_2}(\Theta_i, \Psi_i) f_{rp_2}(\Theta_v, \Theta_i, \Psi_i)] \quad (35)$$

Вираз для L є загальним і придатним до всіх ситуацій. Оскільки значення освітленостей і коефіцієнти яскравості мають бути виражені як аналітичні функції для проведення інтегрування цих виразів, може бути, взагалі, вираз для L у незамкненій формі. Наближення методом кінцевих елементів дає змогу оцінити це рівняння. BRDF тепер приймають форму ряду дискретних значень, яка дискретизує контрастний BRDF. Результуюче наближення є:

$$L(\Theta_i) \approx \sum [\Delta E_{p1}(\Theta_i, \Psi_i) f_{rp1}(\Theta_v, \Theta_i, \Psi_i) + \Delta E_{p2}(\Theta_i, \Psi_i) f_{rp2}(\Theta_v, \Theta_i, \Psi_i)] \quad (36)$$

Підсумовування проводиться за всіма дискретними значеннями освітленості. Кількість дискретних кроків визначає точність апроксимації. Розмір кроку в цих наближеннях визначається вимогою до моделі високих градієнтів або освітленості, або BRDF. У випадку розрахунків яскравості для візуальних робочих завдань модифікація може бути застосована до BRDF, беручи до уваги тінь тіла.

4.3 Світність

Якщо кімнатні поверхні розглядаються як ламбертівські, тоді світності дискретних елементів можуть бути знайдені за допомогою моделі перенесення потоку, описаного вище. Розподіл світності вздовж поверхні кімнати може бути визначений як ряд точок, які покривають її, використовуючи програмне забезпечення світлотехнічного аналізу. Для кімнат з однорідною системою освітленості середні світності кімнатних поверхонь можуть бути визначені, використовуючи метод Люмена.

5 РОЗРАХУНОК ПОХІДНИХ ВЕЛИЧИН

Із фотометричних величин – освітленості, яскравості і світності – можливо обчислення інших величин, які характеризують як візуальна система людини інтерпретує або відчуває дію візуального явища.

5.1 Контраст

Контраст становить різницю в яскравості між елементами робочого завдання і її фоном відносно яскравості фона або яскравостей візуальної сцени.

Є три різних формули для розрахунку контрасту, кожна із яких забезпечує відповіді, які мало відрізняються.

Візуальні характеристики і метрика видимості відносної візуальної характеристики (Relative Visual Performance – RVP) і еквівалентне сферичне освітлення (Equivalent Sphere Illumination – ESI) є метриками для оцінювання візуальної характеристики і видимості, відповідно. Розрахунок цих величин потребує визначення робочого завдання та яскравостей фона (для отримання контраста робочого завдання). Розмір робочого завдання та яскравості адаптації також є необхідними.

5.2 Ймовірність візуального комфорту

Дискомфортна освітленість є відчуття дискомфорту, спричинена яскравостями, які є високими відносно середніх освітленостей в полі зору. Ймовірність візуального комфорту (Visual Comfort Probability – VCP) є ймовірність того, що нормальний спостерігач не відчуває дискомфорт, коли розглядає освітлювальну систему за визначених умов. Рівняння для розрахунку виводяться із корельованих фотометричних і геометричних характеристик простих освітлювальних моделей, оцінених спостерігачами за дискомфортом блиском [61-68]. Експерименти в симульованих кімнатах використовуються для підтвердження розповсюдження від лабораторії до

освітлювальних інсталяцій [69-70]. Така система була випробувана й атестована, використовуючи тільки лінзові прямі люмінесцентні системи. VCR не може бути застосована до дуже малих джерел, таких як лампа розжарювання і розрядних світильників високого тиску, до дуже великих джерел, таких як стельові і непрямі системи або неоднорідні джерела, такі як параболічні відбивачі.

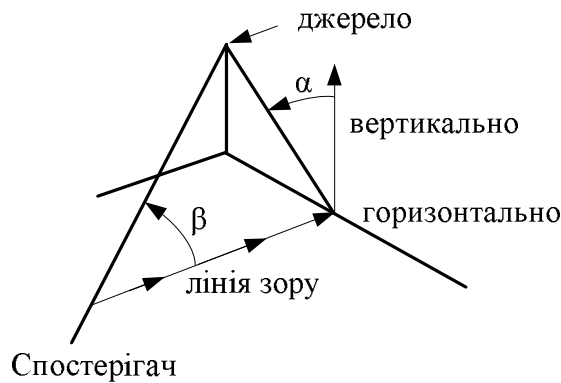


Рисунок 5.1 – Геометрія, яка пояснює індекс позиції, що використовується в VCR обчислювань

Для того щоб розрахувати VCR спершу необхідно провести декілька проміжних розрахунків [71-81]. Показник розташування джерела, P , є оберненою мірою відносної чутливості до блиску джерела за різних позицій у відношеннях до поля зору. Відібрані величини або сімейство кривих були опубліковані. P дається формулою [79]:

$$P = \exp \left[\left(35,2 - 0,31889\alpha - 1,22e^{-2\alpha/9} \right) 10^{-3}\beta + \left(21 + 0,26667\alpha - 0,002963\alpha^2 \right) 10^{-5}\beta^2 \right], \quad (37)$$

де α – кут між вертикаллю до площини, що вміщує джерело і лінією зору (рис. 5.1) у градусах.

β – кут між лінією зору і лінією від спостерігача до джерела.

Середня яскравість для повного поля зору F_v , апроксимується таким рівнянням:

$$f_v = \frac{L_w \omega_w + L_f \omega_f + L_c \omega_c + \sum L_s \omega_s}{5}, \quad (38)$$

де L_w – середня яскравість стін у кд/м²;

L_f – середня яскравість підлоги в кд/м²;

L_c – середня яскравість стелі в кд/м²;

ω_w – тілесний кут між спостерігачем і стінами в ср;

ω_f – тілесний кут між спостерігачем і підлогою в ср;

ω_c – тілесний кут між спостерігачем і стелею в ср;

ω_s – тілесний кут між спостерігачем і джерелом у ср;

5 в знаменнику виникає за припущення, що повне поле зору є 5 ср [79].

Функція Q була розвинена для використання під час розрахунків VCP

$$Q = 20,4 \omega_s + 1,52 \omega_s^{0,2} - 0,075, \quad (39)$$

де ω_s є тілесний кут між спостерігачем до джерела, у стерadianах.

Величини P , F_v , і Q використовуються для визначення показника відчуття, M

$$M = \frac{0,50 L_s Q}{P F_v^{0,44}} \quad (40)$$

Яскравість у наведеному вище рівнянні виражається в кд/м^2 . Коефіцієнт 0,50 в чисельнику дає змогу використовувати ці одиниці. Номінальне значення дискомфорного блиску (discomfort glare rating DGR) може бути обчислено для повного поля зору за показниками відчуття кожного джерела. DGR є метрикою дискомфорту, яке збільшується коли дискомфорт збільшується, воно також використовується в обчислюванні VCP, і подається формулою:

$$\text{DGR} = \sum_{i=1}^n (M_i)^{n^{-0,0914}}, \quad (41)$$

де n – кількість джерел в полі зору

M_i – показник відчуття для i -го джерела.

Співвідношення між DGR і VCP може бути знайдено із графіка такого, як подано на рисунку 5.2 або розрахована за [80].

Ці основні співвідношення можуть бути застосовані через різноманітні засоби. Узагалі використовується концепція кімнатної порожнини, за якої дійсні яскравості стелі та підлоги і тілесні кути заміщуються їхніми еквівалентними значеннями. Розрахунки можуть бути проведені підсумовуванням за всіма огороженнями.

Величини VCP часто пов'язані зі світильниками за стандартизованих умов використання. У цьому методі світильники частково розподілені по стелі відповідно до стандартної схеми. Величини VCP визначаються [71, 74, 76] для:

1. Первинної середньої горизонтальної освітленості в 1000 лк (100 фк).
2. Коефіцієнта відбиття кімнати $\rho_{CC} = 0,80$, $\rho_W = 0,50$, $\rho_{FC} = 0,20$.
3. Висоти підвішування світильника над підлогою в 2,6; 3,4 і 4,9 м (8,5; 10; 13 і 16 фт).

4. Певного діапазону розмірів кімнати, включаючи квадратну, довгу вузьку і коротку широку кімнати.

5. Точки спостереження 1,2 м спереду центра задньої стінки і 1,2 м вище підлоги.

6. Горизонтальної лінії зору прямо вперед.

7. Верхньої границі поля зору, що відповідає куту 53° вище і прямо вперед від спостерігача.

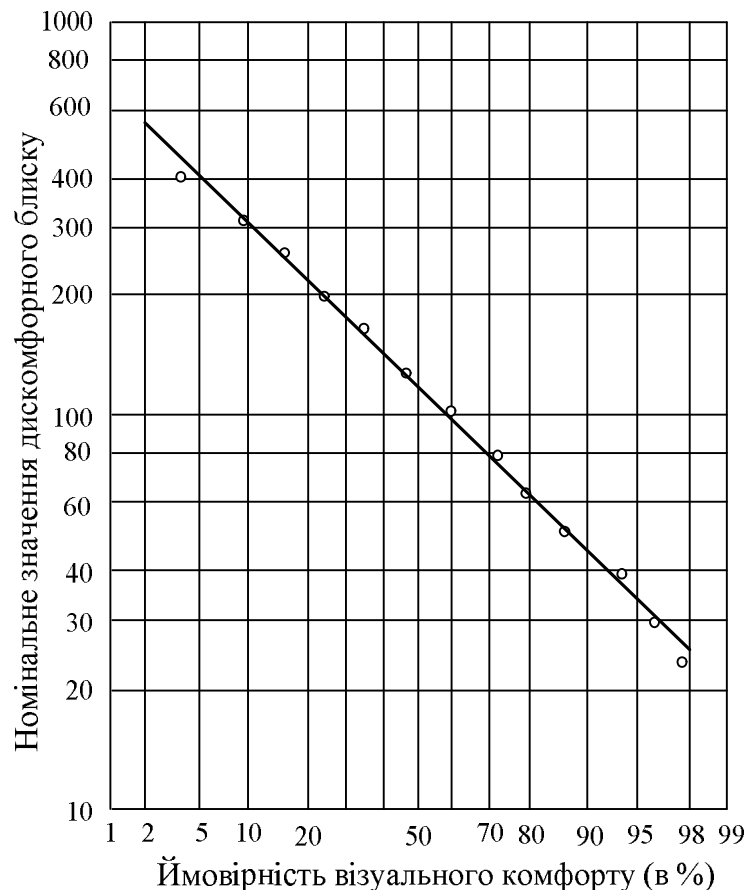


Рисунок 5.2 – Діаграма для переведення DGR в VCP

$$VCP = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{6.374 - 1.3227 \ln DGR} e^{-t^2/2} dt. \quad (42)$$

Є дві мети в застосуванні стандартизованої процедури. Перша спрощує розрахунки, дозволяючи організацію різних процедурних кроків. Друга дає змогу провести порівняння між тими світильниками, для яких стандартизовані значення табульовані навіть перед тим, як розроблено певне освітлювальне планування. Таблиця 5.1 ілюструє типові табулювання ймовірностей візуального комфорту як розвинену стандартизовану процедуру.

Таблиця 5.1 – Приклад табулювання значень VCP

Кімната		Світильники у довжину				Світильники в ширину			
W	L	8,5	10,0	13,0	16,0	8,5	10,0	13,0	16,0
20	20	78	82	90	94	77	81	89	93
20	30	73	78	82	88	72	75	81	86
20	10	71	73	78	82	70	72	76	80
20	60	69	71	74	78	68	70	73	76
30	20	78	82	88	92	77	81	87	92
30	30	73	75	80	85	72	74	79	84
30	40	70	72	76,5	78	69	71	74	77
30	60	68	69	71	74	67	69	70	73
30	80	67	69	69	72	67	68	68	71
40	20	79	82	87	92	79	82	87	91
40	30	74	76	79	84	73	75	78	83
40	40	71	72	74	77	70	71	73	76
40	60	68	69	70	72	68	69	69	71
40	80	67	68	68	70	67	68	67	69
40	100	67	68	67	69	67	67	66	68
60	30	75	76	79	83	74	76	78	82
60	40	71	72	74	76	71	72	73	76
60	60	69	69	69	71	68	69	68	70
60	80	68	68	67	69	67	68	66	68
60	100	67	67	66	67	67	67	65	66
100	40	74	75	75	78	74	74	75	77
100	60	71	71	71	72	71	71	70	72
100	80	70	70	68	69	70	69	67	69
100	100	69	68	66	67	68	68	66	67

Примітка: Приклад для використання, коли одиниці довжини і освітленості є фут (фт) і фут-кандела (фк), VCP значення ідентичні, якщо довжина і освітленість є метр (м) і люкс (лк). Коефіцієнт відбиття стіни 50 %. Ефективний коефіцієнт відбиття стелі 80 %. Ефективний коефіцієнт відбиття підлоги 20 %. Світильник № 000. Освітленість робочої площі 100 фк.

5.3 Узагальнений показник блискості

МКО розвинув систему узагальненої оцінки показника блискості освітленості (Unified Glare Rating – UGR). Ця система призначена для визначення осліплюючого дискомфорту і прийнята багатьма країнами. UGR обчислюється за формулою:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \right) \sum_i \frac{L_i 2\omega_i}{P_i^2},$$

де L_b – яскравість поля спостереження в кд/м², не включаючи яскравість світильника;

L – яскравість світильника в напрямку спостереження;
 ω – тілесний кут світильника, стягнутий до спостерігача;
 P – позиційний показник світильника.

Формула обмежена тими ситуаціями, коли $0,0003 \leq \omega \leq 0,1$. Діапазон значення UGR від 5 до 30, із більшими значеннями, що вказують більший осліплюючий дискомфорт.

5.4 Розрахунок середньої освітленості. Метод Люмена

Метод Люмена використовуються для обчислювання середньої освітленості \bar{E} на робочій площині в інтер'єрі. Вона визначається як

$$\bar{E} = \frac{\text{повний потік на робочу площину}}{\text{поверхня робочої площини}} \quad (43)$$

Коефіцієнт використання (Coefficient Of Utilization – CU) дає частину світлового потоку лампи, яка досягає робочої площини прямо від джерела і від перевідбиттів. Коефіцієнт використання бере до уваги ефективність світильника і вплив розподілу світильника, і кімнатні поверхні за їх похідними.

Отже, число люменів, яке продукують лампи, перемножені на цей CU, визначає число (люменів), яке досягає робочу площину.

$$\bar{E}_{\text{initial}} = \frac{\text{повне число люменів ламп} \times \text{CU}}{\text{поверхня робочої площини}} \quad (44)$$

Оскільки завданням проекту звичайно є експлуатаційна освітленість, коефіцієнт світлових втрат повинен застосовуватися, щоб встановлювати зниження світлового потоку лампи в часі, встановлювати втрати від накопичення бруду на поверхнях світильника (включаючи лампи) і інших факторів, які впливають на світлову віддачу світильника з часом. Таким чином, формула стає

$$\bar{E}_{\text{initial}} = \frac{\text{повне число люменів ламп} \times \text{CU} \times \text{LLF}}{\text{поверхня робочої площини}} \quad (45)$$

де CU – коефіцієнт використання;

LLF – коефіцієнт світлових втрат, (Light Loss Factor – LLF).

Хоча проектні розрахунки базуються на LLF, використовуючи не відновлювальні й відновлювальні фактори, інколи необхідно розрахувати освітленість для нового освітлювального устаткування. У таких випадках повторюють розрахунки, використовуючи невідновлювальні втрати, оскільки відновлювальні втрати не трапляються за 100 год, час за яких лампи мають номінальні параметри. Лампові люмени у формулі більш зручно взяти як повні номінальні лампові люмени в світильниках

$$\overline{E} = \frac{(\text{число світильників}) \times (\text{лампи на світильник}) \times (\text{лампові люмени}) \times CU \times LLF}{\text{поверхня робочої площини}}. \quad (46)$$

Якщо бажана експлуатаційна освітленість відома, рівняння може бути вирішено для знаходження необхідної кількості світильників.

$$\text{число світильників} = \frac{\overline{E}_{\text{maintained}} \times (\text{поверхня робочої площини})}{(\text{лампи на світильник}) \times (\text{лампові люмени}) \times CU \times LLF} \quad (47)$$

Типова форма для розрахунку освітленості подана на рисунку 5.3.

Обмеження. Освітленість розрахована за методом Люмена, є середнім значенням, яке є репрезентативним тільки якщо світильники розташовуються для одержання достатньо однорідної освітленості. Розрахунки коефіцієнтів використання засновані на порожніх інтер'єрах, які мають поверхні із абсолютно дифузним коефіцієнтом відбиття. Середню освітленість визначають методом Люмена через встановлення повного світлового потоку (люменів), який досягає робочу площину, і діленням на поверхню робочої площини. Середня величина освітленості, визначена цим способом, може відрізнятися суттєво від одержаного усередненням дискретних величин освітленості в декількох точках.

Процедура розрахунку. На рисунку 5.3 подано процедури розрахунку середньої експлуатаційної освітленості з використанням метода зональної порожнини [44-46].

Коефіцієнти порожнини. Радіаційний обмін між верхом і низом прямокутного простору є функцією, пропорційною її довжині, ширині та висоті. Значення коефіцієнта порожнини апроксимує цей ефект об'єднанням цих пропорцій в єдину величину.

За методом зональної порожнини ефекти від кімнатних пропорцій, довжини підвішування світильника, висоти робочої площини на коефіцієнт використання відповідно подаються коефіцієнтом кімнатної порожнини, коефіцієнтом порожнини стелі й коефіцієнтом порожнини підлоги. Ці коефіцієнти визначаються розбиттям кімнати на три порожнини, як показано на рисунку 5.4 і представленням розмірів (у м або фт) у таку формулу

$$\text{Коефіцієнт порожнини} = \frac{5h(d(\text{довжини порожнини} + \text{ширина порожнини}))}{\text{довжина порожнини} \times \text{ширина порожнини}}, \quad (48)$$

де

$$h = \begin{cases} h_{\text{RC}} & \text{коефіцієнт кімнатної порожнини (Room Cavity Ratio – RCR)} \\ h_{\text{CC}} & \text{коефіцієнт порожнини стелі (Ceiling Cavity Ratio – CCR)} \\ h_{\text{FC}} & \text{коефіцієнт порожнини підлоги (Floor Cavity Ratio – FCR)} \end{cases}.$$

ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ			
Проектна ідентифікація: _____ (Дати назву простору/або будівлі і номер кімнати)			
Середня експлуатаційна освітленість проекту:	_____лк _____фк	Дані про лампу: Тип і колір: _____ Число на світильник: _____ Повне число люменів на світильник: _____	
ВИБІР КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ			
Крок 1	Заповнити інформацію ескізі праворуч		
Крок 2	Визначити коефіцієнт порожнини		
Коефіцієнт порожнини кімнати RCR _____			
Коефіцієнт порожнини стелі CCR _____			
Коефіцієнт порожнини підлоги FCR _____			
Крок 3	Одержати ефективний коефіцієнт відбиття порожнини стелі	Коефіцієнт відбиття порожнини стелі, ρ_{cc} _____	
Крок 4	Одержати ефективний коефіцієнт відбиття порожнини підлоги	Коефіцієнт відбиття порожнини підлоги, ρ_{fc} _____	
Крок 5	Одержати коефіцієнт використання із даних виробника	Коефіцієнт використання, $СИ$ _____	
ВИБІР КОЕФІЦІЄНТІВ СВІТЛОВИХ ВТРАТ			
Невідновлювальні		Відновлювальні	
Оточуюча температура світильника	_____	Зниження із-за бруду кімнатної поверхні RSDD	_____
Напруга на світильнику	_____	Зниження світлового потоку лампи LLD	_____
Коефіцієнт баласту	_____	Коефіцієнт перегорання лампи LBO	_____
Зношення поверхні світильника	_____	Зниження із-за забруднення лампи LDD	_____
Загальний коефіцієнт світлових втрат LLF	_____		
Загальний коефіцієнт світлових втрат _____			
РОЗРАХУНОК			
$\text{Числосвітильників} = \frac{(\text{ООсвітленість}) \times (\text{ППлоща})}{(\text{Люменів на світильник}) \times (СИ) \times (LLF)} = \text{_____}$ $\text{Освітленість} = \frac{\text{Числосвітильників} \times \text{люменів на світильник} \times СИ \times LLF}{(\text{Люменів на світильник}) \times (СИ) \times (LLF)}$			
Обчислення проведені:		Дата: « » 20 р.	

Освітленість у кімнатах із несиметричною формою може бути визначена розрахунком коефіцієнта кімнатної порожнини, використовуючи наступну формулу і вирішуючи завдання звичайним способом

$$\text{Коефіцієнт порожнини} = \frac{2,5 \times (\text{висота порожнини}) \times (\text{периметр порожнини})}{\text{поверхня основи порожнини}}. \quad (49)$$

Ефективні коефіцієнти відбиття порожнини. У таблиці 5.2 подано засоби перетворення комбінації коефіцієнтів відбиття стінки і стелі або стінки і підлоги в єдиний ефективний коефіцієнт порожнини стелі ρ_{CC} і єдиний ефективний коефіцієнт відбиття порожнини підлоги ρ_{FC} . Для розрахунку за методом Люмена для коефіцієнтів відбиття стелі, стінки і підлоги необхідно брати первинні значення. RSDD фактор з часом компенсує зменшення коефіцієнта відбиття. Зазначимо, що для поверхнево вмонтованих і вбудованих світильників CCR дорівнює 0 і дійсний коефіцієнт відбиття стелі може бути використаний для ρ_{CC} . Прямокутна порожнина складається із чотирьох стін, кожна із яких має коефіцієнт відбиття ρ_W і коефіцієнт відбиття основи ρ_B (стеля або підлога). Ефективний коефіцієнт відбиття ρ_{eff} цієї порожнини є відношення потоку, відбитого зовні до потоку, який входить у порожнину через її отвір. Якщо коефіцієнти відбиття вважаються абсолютно дифузними і вважається, що потік входить у порожнину абсолютно дифузним способом, можна розрахувати ефективний коефіцієнт відбиття порожнини, використовуючи теорію перенесення. Результатом є:

$$\rho_{eff} = \frac{\rho_B \rho_W f \left(2 \frac{A_B}{A_W} (1-f) - f \right) + \rho_B f^2 + \rho_W \frac{A_B}{A_W} (1-f)^2}{1 - \rho_B \rho_W \frac{A_B}{A_W} (1-f)^2 - \rho_W \left(1 - 2 \frac{A_B}{A_W} (1-f) \right)}, \quad (50)$$

де A_B , A_W – площини основи і стін порожнини відповідно;

ρ_B , ρ_W – коефіцієнти відбиття основи і стін порожнини відповідно;

f – форм-фактор між отвором порожнини і основою порожнини.

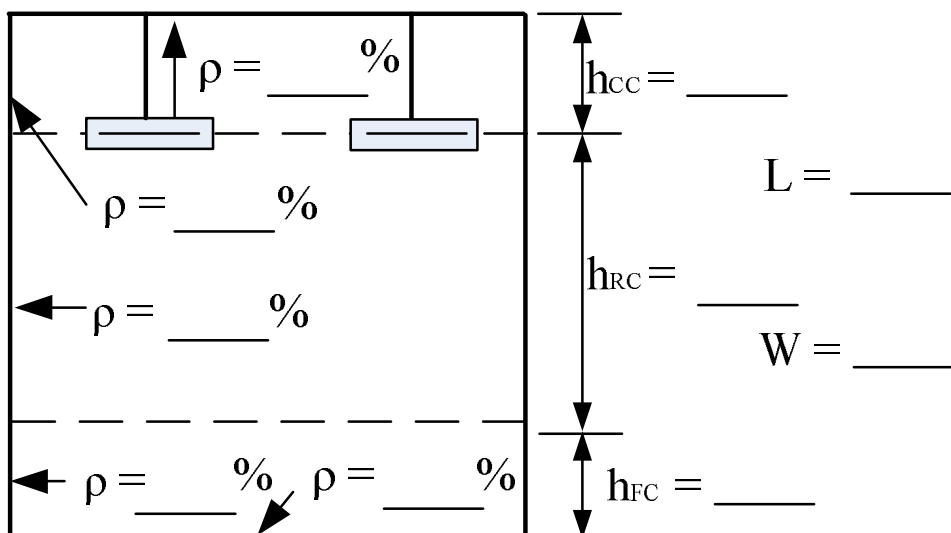


Рисунок 5.3 – Лист розрахунку середньої освітленості

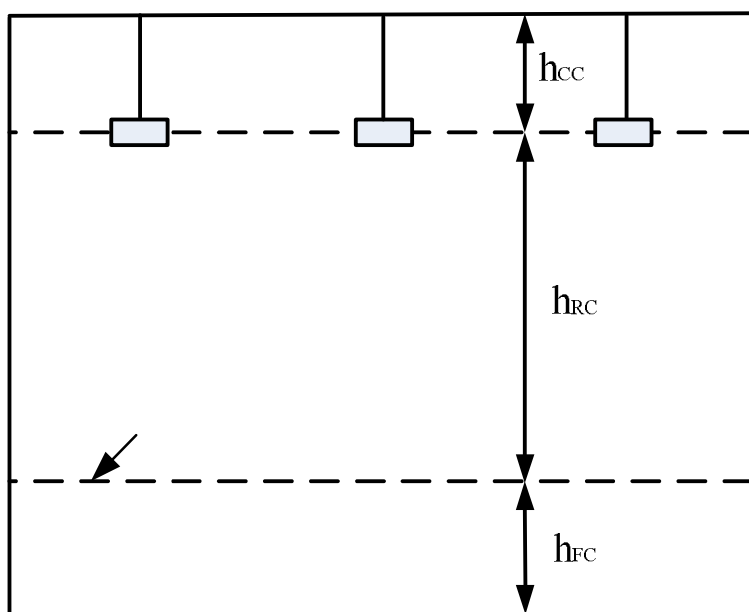


Рисунок 5.4 – Три порожнини, які використовуються в методі зональних порожнин

Форм-фактор f у наведеному вище рівнянні подається:

$$f = \frac{2}{\pi x y} \ln \left(\frac{(1+x^2)(1+y^2)}{1+x^2+y^2} \right)^{1/2} + \frac{2}{\pi x} (1+x^2)^{1/2} \arctg \left(\frac{y}{(1+x^2)^{1/2}} \right) +$$

$$+ \frac{2}{\pi y} (1+y^2)^{1/2} \arctg \left(\frac{x}{(1+y^2)^{1/2}} \right) - \frac{2}{\pi x} \arctgy - \frac{2}{\pi y} \arctgx$$

(51)

де x і y мають такі значення

$$x = \frac{\text{довжина порожнини}}{\text{глибина порожнини}}, \quad (52, \text{ а})$$

$$y = \frac{\text{довжина порожнини}}{\text{глибина порожнини}} \quad (52, \text{ б})$$

Арктангенси виражені в радіанах. Якщо припустити, що порожнина квадратна, тоді

$$x = y = \frac{10}{\text{коефіцієнт порожнини}} \quad (53)$$

Ефективний коефіцієнт порожнини стелі негоризонтальних стель може бути визначений такою формулою:

$$\rho_{CC} = \frac{\rho}{\frac{A_S}{A_0} - \rho \left(\frac{A_S}{A_0} - 1 \right)}, \quad (54)$$

де A_0 – площа отвору стелі;

A_S – площа поверхні стелі;

ρ – коефіцієнт відбиття поверхні стелі.

Завдання освітленості вирішується тоді у звичайний спосіб.

Формула для ρ_{CC} застосовується для увігнутих стель, таких як напівсферична баня, де всі частини стелі опромінюються всіма іншими частинами. Якщо коефіцієнт відбиття поверхні стелі не той самий для всіх частин поверхні, то необхідно використовуватися середньозважений за поверхнею. Таким чином, якщо стеля має n частин, тоді

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, \quad (55)$$

де ρ_i – коефіцієнт відбиття i -тої частини стелі;

A_i – площа i -тої частини стелі.

Таблиця 5.2 – Ефективний коефіцієнт відбиття порожнини стелі і підлоги 60% для різних комбінацій коефіцієнта відбиття

Коефіцієнт порожнини	Коефіцієнт відбиття основи																								
	90					80					70					60					50				
	Коефіцієнт відбиття стіни																								
	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0																				
0.2	89 88 88 87 86 85 85 84 84 82	79 78 78 77 77 76 76 75 74 72	70 69 68 68 67 67 66 66 65 64	60 59 59 59 58 57 56 56 55 53	50 50 49 49 48 48 47 46 46 44																				
0.4	88 87 86 85 84 83 81 80 79 76	79 77 76 75 74 73 72 71 70 68	69 68 67 66 65 64 63 62 61 58	60 59 59 58 57 55 54 53 52 50	50 49 48 48 47 46 45 45 44 42																				
0.6	87 86 84 82 80 79 77 76 74 73	78 76 75 73 71 70 68 66 65 63	69 67 65 64 63 61 59 58 57 54	60 58 57 56 55 53 51 51 50 46	50 48 47 46 45 44 43 42 41 38																				
0.8	87 85 82 80 77 75 73 71 69 67	78 75 73 71 69 67 65 63 61 57	68 66 64 62 60 58 56 55 53 50	59 57 56 55 54 51 48 47 46 43	50 48 47 45 44 42 40 39 38 36																				
1.0	86 83 80 77 75 72 69 66 64 62	77 74 72 69 67 65 62 60 57 55	68 65 62 60 58 55 53 52 50 47	59 57 55 53 51 48 45 44 43 41	50 48 46 44 43 41 38 37 36 34																				
1.2	85 82 78 75 72 69 66 63 60 57	76 73 70 67 64 61 58 55 53 51	67 64 61 59 57 54 50 48 45 44	59 56 54 51 49 46 44 42 40 38	50 47 45 43 41 39 36 35 34 29																				
1.4	85 80 77 73 69 65 62 59 57 52	76 72 68 65 62 59 55 53 50 48	67 63 60 58 55 51 47 45 44 41	59 56 53 49 47 44 41 39 38 36	50 47 45 42 40 38 35 34 33 27																				
1.6	84 79 75 71 67 63 59 56 53 50	75 71 67 63 60 57 53 50 47 44	67 62 59 56 53 47 45 43 41 38	59 55 52 48 45 42 39 37 35 33	50 47 44 41 39 36 33 32 30 26																				
1.8	83 78 73 69 64 60 56 53 50 48	75 70 66 62 58 54 50 47 44 41	66 61 58 54 51 46 42 40 38 35	58 55 51 47 44 40 37 35 33 31	50 46 43 40 38 35 31 30 28 25																				
2.0	83 77 72 67 62 56 53 50 47 43	74 69 64 60 56 52 48 45 41 38	66 60 56 52 49 45 40 38 36 33	58 54 50 46 43 39 35 33 31 29	50 46 43 40 37 34 30 28 26 24																				
2.2	82 76 70 65 59 56 50 47 44 40	74 68 63 58 54 49 45 42 38 35	66 60 55 51 48 43 38 36 34 32	58 53 49 45 42 37 34 31 29 28	50 46 42 38 36 33 29 27 24 22																				
2.4	82 75 69 65 58 53 48 45 41 37	73 67 61 56 52 47 43 40 36 33	65 60 54 50 46 41 37 35 32 30	58 53 48 44 41 36 32 30 27 26	50 46 42 37 35 31 27 25 23 21																				
2.6	81 74 67 62 56 51 46 42 38 35	73 66 60 55 50 45 41 38 34 31	65 59 54 49 45 40 35 33 30 28	58 53 48 43 39 35 31 28 26 24	50 46 41 37 34 30 26 23 21 20																				
2.8	81 73 66 60 54 49 44 40 36 34	73 65 59 53 48 43 39 36 32 29	65 59 53 48 43 38 33 30 28 26	58 53 47 43 38 34 29 27 24 22	50 46 41 36 33 29 25 22 20 19																				
3.0	80 72 64 58 52 47 42 38 34 30	72 65 58 52 47 42 37 34 30 27	64 58 52 47 42 37 32 29 27 24	57 52 46 42 37 32 28 25 23 20	50 45 40 36 32 28 24 21 19 17																				
3.2	79 71 63 56 50 45 40 36 32 28	72 65 57 51 45 40 35 33 28 25	64 58 51 46 40 36 31 28 25 23	57 51 45 41 36 31 27 23 22 18	50 44 39 35 31 27 23 20 18 16																				
3.4	79 70 62 54 48 43 38 34 30 27	71 64 56 49 44 39 34 32 27 24	64 57 50 45 39 35 29 27 24 22	57 51 45 40 35 30 26 23 20 17	50 44 39 35 30 26 22 19 17 15																				
3.6	78 69 61 53 47 42 36 32 28 25	71 63 54 48 43 38 32 30 25 23	63 56 49 44 38 33 28 25 22 20	57 50 44 39 34 29 25 22 19 16	50 44 39 34 29 25 21 18 16 14																				
3.8	78 69 60 51 45 40 35 31 27 23	70 62 53 47 41 36 31 28 24 22	63 56 49 43 37 32 27 24 21 19	57 50 43 38 33 29 24 21 19 15	50 44 38 34 29 25 21 17 15 13																				
4.0	77 69 58 51 44 39 33 29 25 22	70 61 53 46 40 35 30 26 22 20	63 55 48 42 36 31 26 23 20 17	57 49 42 37 32 28 23 20 18 14	50 44 38 33 28 24 20 17 15 12																				
4.2	77 62 57 50 43 37 32 28 24 21	69 60 52 45 39 34 29 25 21 18	62 55 47 41 35 30 25 22 19 16	56 49 42 37 32 27 22 19 17 14	50 43 37 32 28 24 20 17 15 12																				
4.4	76 61 56 49 42 36 31 27 23 20	69 60 51 44 38 33 28 24 20 17	62 54 46 40 34 29 24 21 18 15	56 49 42 36 31 27 22 19 16 13	50 43 37 32 27 23 19 16 13 11																				
4.6	76 60 55 47 40 35 30 26 22 19	69 59 50 43 37 32 27 23 19 15	62 53 45 39 33 28 24 21 17 14	56 49 41 35 30 26 21 18 16 13	50 43 36 31 26 22 18 15 13 10																				
4.8	75 59 54 46 39 34 28 25 21 18	68 58 49 42 36 31 26 22 18 14	62 53 45 38 32 27 23 20 16 13	56 48 41 34 29 25 21 18 15 12	50 43 36 31 26 22 18 15 12 09																				
5.0	75 59 53 45 38 33 28 24 20 16	68 58 48 41 35 30 25 21 18 14	61 52 44 36 31 26 22 19 16 12	56 48 40 34 28 24 20 17 14 11	50 42 35 30 25 21 17 14 12 09																				
6.0	73 61 49 41 34 29 24 20 16 11	66 55 44 38 31 27 22 19 15 10	60 51 41 35 28 24 19 16 13 09	55 45 37 31 25 21 17 14 11 07	50 42 34 29 23 19 15 13 10 06																				
7.0	70 58 45 38 30 27 21 18 14 08	64 53 41 35 28 24 19 16 12 07	58 43 38 32 26 22 17 14 11 06	54 43 35 30 24 20 15 12 06 05	49 41 32 27 21 18 14 11 08 05																				
8.0	68 55 42 35 27 23 18 15 12 06	62 50 38 32 25 21 17 14 11 05	57 46 35 29 23 19 15 13 10 05	53 42 33 28 22 18 14 11 08 04	49 40 30 25 19 16 12 10 07 03																				
9.0	66 52 38 31 25 21 16 14 11 05	61 49 36 30 23 19 15 13 10 04	56 45 33 27 21 18 14 12 09 04	52 40 31 26 20 16 12 10 07 03	48 39 29 24 18 15 11 09 07 03																				
10.0	65 51 36 29 22 19 15 11 09 04	59 46 33 27 21 18 14 11 08 03	55 43 31 25 19 16 12 10 08 0	51 39 29 24 18 15 11 09 07 02	47 37 27 22 17 14 10 08 06 02																				

Продовження таблиці 5.2

Коефіцієнт порожнини	Коефіцієнт відбиття основи																																																	
	40										30										20										10										0									
	Коефіцієнт відбиття стіни																																																	
	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0																																													
0.2	40 40 39 39 39 38 38 37 36 36	31 31 30 30 29 29 29 28 28 27	21 20 20 20 20 20 19 19 19 17	11 11 11 10 10 10 10 09 09 09	02 02 02 01 01 01 01 00 00 0																																													
0.4	41 40 39 39 38 37 36 35 34 34	31 31 30 30 29 28 28 27 26 25	22 21 20 20 20 19 19 18 18 16	12 11 11 11 11 10 10 09 09 08	04 03 03 02 02 02 01 01 00 0																																													
0.6	41 40 39 38 37 36 34 33 32 31	32 31 30 29 28 27 26 26 25 23	23 21 21 20 19 19 18 18 17 15	13 13 12 11 11 10 10 09 08 08	05 05 04 03 03 02 02 01 01 0																																													
0.8	41 40 38 37 36 35 33 32 31 29	32 31 30 29 28 26 25 25 23 22	24 22 21 20 19 19 18 17 16 14	15 14 13 12 11 10 10 09 08 07	07 06 05 04 04 03 02 02 01 0																																													
1.0	42 40 38 37 35 33 32 31 29 27	33 32 30 29 27 25 24 23 22 20	25 23 22 20 19 18 17 16 15 13	16 14 13 12 12 11 10 09 08 07	08 07 06 05 04 03 02 02 01 0																																													
1.2	42 40 38 36 34 32 30 29 27 25	33 32 30 28 27 25 23 22 21 19	25 23 22 20 19 17 17 16 14 12	17 15 14 13 12 11 10 09 07 06	10 08 07 06 05 04 03 02 01 0																																													
1.4	42 39 37 35 33 31 29 27 25 23	34 32 30 28 26 24 22 21 19 18	26 24 22 20 18 17 16 15 13 12	18 16 14 13 12 11 10 09 07 06	11 09 08 07 06 04 03 02 01 0																																													
1.6	42 39 37 35 32 30 27 25 23 22	34 33 29 27 25 23 22 20 18 17	26 24 22 20 18 17 16 15 13 11	19 17 15 14 12 11 09 08 07 06	12 10 09 07 06 05 03 02 01 0																																													
1.8	42 39 36 34 31 29 26 24 22 21	35 33 29 27 25 23 21 19 17 16	27 25 23 20 18 17 15 14 12 10	19 17 15 14 13 11 09 08 06 05	13 11 09 08 07 05 04 03 01 0																																													
2.0	42 39 36 34 31 28 25 23 21 19	35 33 29 26 24 22 20 18 16 14	28 25 23 20 18 16 15 13 11 09	20 18 16 14 13 11 09 08 06 05	14 12 10 09 07 05 04 03 01 0																																													
2.2	82 76 70 65 59 56 50 47 44 40	74 68 63 58 54 49 45 42 38 35	66 60 55 51 48 43 38 36 34 32	58 53 49 45 42 37 34 31 29 28	50 46 42 38 36 33 29 27 24 22																																													
2.4	82 75 69 65 58 53 48 45 41 37	73 67 61 56 52 47 43 40 36 33	65 60 54 50 46 41 37 35 32 30	58 53 48 44 41 36 32 30 27 26	50 46 42 37 35 31 27 25 23 21																																													
2.6	81 74 67 62 56 51 46 42 38 35	73 66 60 55 50 45 41 38 34 31	65 59 54 49 45 40 35 33 30 28	58 53 48 43 39 35 31 28 26 24	50 46 41 37 34 30 26 23 21 20																																													
2.8	81 73 66 60 54 49 44 40 36 34	73 65 59 53 48 43 39 36 32 29	65 59 53 48 43 38 33 30 28 26	58 53 47 43 38 34 29 27 24 22	50 46 41 36 33 29 25 22 20 19																																													
3.0	80 72 64 58 52 47 42 38 34 30	72 65 58 52 47 42 37 34 30 27	64 58 52 47 42 37 32 29 27 24	57 52 46 42 37 32 28 25 23 20	50 45 40 36 32 28 24 21 19 17																																													
3.2	42 39 36 33 30 27 24 22 19 18	36 32 29 26 24 22 19 17 15 13	28 25 23 20 18 16 14 12 10 09	21 19 16 14 13 11 09 07 06 05	15 13 11 09 07 06 04 03 01 0																																													
3.4	43 39 35 33 29 27 24 21 18 17	36 32 29 26 24 22 19 16 14 12	29 26 23 20 18 16 14 12 10 08	22 19 17 15 13 11 09 07 06 05	16 13 11 09 08 06 04 03 01 0																																													
3.6	43 39 35 32 29 26 23 20 17 15	36 32 28 25 23 21 18 16 14 12	29 26 23 20 18 16 14 11 09 08	23 20 17 15 13 11 09 07 06 04	17 14 12 10 08 06 05 03 02 0																																													
3.8	43 39 35 32 28 25 22 19 16 14	37 33 29 25 23 21 17 15 13 11	30 27 23 20 18 15 13 11 09 07	23 20 18 16 13 11 09 07 05 03	17 15 13 10 08 07 05 03 02 0																																													
4.0	43 39 35 31 27 24 21 18 16 13	37 33 29 25 22 20 17 15 12 10	30 27 23 20 17 15 13 11 09 07	24 21 18 16 13 11 09 07 05 03	18 16 13 11 09 07 05 03 02 0																																													
4.2	44 38 33 29 24 21 17 15 12 10	38 33 28 24 20 17 14 12 09 07	33 28 23 20 17 14 11 09 07 04	28 24 20 17 14 11 09 06 04 02	22 19 16 13 10 08 06 04 02 0																																													
4.4	44 38 33 28 24 20 17 14 11 09	39 33 28 24 20 17 14 11 09 06	34 28 24 20 17 14 11 09 07 04	28 24 20 17 14 11 08 06 04 02	23 19 16 13 10 08 06 04 02 0																																													
4.6	44 38 32 28 23 19 16 14 11 08	39 33 28 24 20 17 13 10 08 06	34 29 24 20 17 14 11 09 07 04	29 25 20 17 14 11 08 06 04 02	23 20 17 13 11 08 06 04 02 0																																													
4.8	44 38 32 27 22 19 16 13 10 08	39 33 28 24 20 17 13 10 08 05	35 29 24 20 17 13 10 08 06 04	29 25 20 17 14 11 08 06 04 02	24 20 17 14 11 08 06 04 02 0																																													
5.0	45 38 31 27 22 19 15 13 10 07	39 33 28 24 19 16 13 10 08 05	35 29 24 20 16 13 10 09 06 04	30 25 20 17 14 11 08 06 04 02	25 21 17 14 14 08 06 04 02 0																																													
6.0	44 37 30 25 20 17 13 11 08 05	39 33 27 23 18 15 11 09 06 04	36 30 24 20 16 13 10 08 05 02	31 26 21 18 14 11 08 06 03 01	27 23 18 15 12 09 06 04 02 0																																													
7.0	44 36 29 24 19 16 12 10 07 04	40 33 26 22 17 14 10 08 05 03	36 30 24 20 15 12 09 07 04 02	32 27 21 17 13 11 08 06 03 01	28 24 19 15 12 09 06 04 02 0																																													
8.0	44 35 28 23 18 15 11 09 06 03	40 33 26 21 16 13 09 07 04 02	37 30 23 19 15 12 08 06 03 01	33 27 21 17 13 10 07 05 03 01	30 25 20 15 12 09 06 04 02 0																																													
9.0	44 35 26 21 16 13 10 08 05 02	40 33 25 20 15 12 09 07 04 02	37 29 23 19 14 11 08 06 03 01	34 28 21 17 13 10 07 05 02 01	31 25 20 15 12 09 06 04 02 0																																													
10.0	43 34 25 20 15 12 08 07 05 02	40 32 24 19 14 11 08 06 03 01	37 29 22 18 13 10 07 05 03 01	34 28 21 17 12 10 07 05 02 01	31 25 20 15 12 09 06 04 02 0																																													

Примітка: Значення таблиці базуються на відношенні довжини до ширини 1.6:1.

5.5 Коефіцієнт використання світильника

Поглинання світла в світильнику береться до уваги під час розрахунків використання цього світильника. На рисунку 5.5 подано таблицю коефіцієнтів використання, розрахованих за методом зональної порожнини для поданих типів світильників. Ці коефіцієнти обчислювались у припущенні ефективного коефіцієнта відбиття порожнини підлоги в 20 %, проте будь-який CU, одержаний із таблиці, може бути скоригований для різних значень ρ_{FC} , застосовуючи відповідний множник із таблиці 5.5.

До рисунка 5.2 дібрана інформація про загальні світильники, які можуть бути легко ідентифіковані. Наприклад, існує багато різноманітних плоских люмінесцентних вбудованих світильників, у яких використовують призматичні лінзи. Світильники на рисунку 5.5 не мають розглядатися як рекомендовані світильники. Зокрема, світильник 2 використовуються найменше, проте коефіцієнти застосовуються до будь-якого непрямого світильника подібної ефективності і прямої компоненти, оскільки вони не залежать від форми направленої вгору розподілу інтенсивності. Важливою рисою цих коефіцієнтів є те, що характеристики світильників із подібними розподілами, але різними ефективностями можуть також аналізуватися за їхнім використанням, виконуючи просте мультиплікативне коригування (див. примітку 3 рис. 5.5).

Оскільки коефіцієнт світлових втрат включає ефект накопичення бруду на поверхнях стіни, вибір відповідного стовпчика коефіцієнта відбиття стіни ρ_w має бути заснований на початкових очікуваних значеннях. Коефіцієнт відбиття стіни повинен також представляти зважені середні коефіцієнти відбиття фарбованих поверхонь, розподілу вікон або врахування денного світла, гіпсострун, полиць, і так далі в поверхнях, які мають бути освітлені. Зважування повинно базуватися на відносних площинах кожного типу поверхонь усередині розглядуваного приміщення. Під час використання таблиці 5.2 часто необхідно інтерполювати між коефіцієнтами приміщення кімнати й ефективними коефіцієнтами відбиття поверхні стелі. Це найбільш легко супроводжується інтерполяцією спочатку між RCR для одержання CU для ефективних коефіцієнтів поверхні стелі, які не співпадають з дійсними ρ_{CC} , і після чого інтерполюють ці CU.

5.6 Інструкції і примітки до користування таблицею коефіцієнтів використання на рисунку 5.5.

1. Світильник у цій таблиці організовується типом джерела і формою світильника більше, ніж застосуванням, для зручності в розташуванні

світильників. У деяких випадках дані засновані на сучасному світильнику, в інших випадках вони презентують комбінацію типових світильників. Таким чином, можливі специфічні дані світильника могли би бути використані переважно для усіх світильників у таблиці.

2. Крива розподілу сили світла і відповідний критерій розташування показані для представників багатьох світильників кожного типу. Характерний світильник може відрізнитися в перпендикулярній площині (crosswise) і паралельній площині (length wise) розподілом сили світла в критеріях розташування за показаних значень. Проте різноманітні коефіцієнти залежать тільки від середньої сили світла за кожного полярного кута від надіра. Значення середньої сили світла використовується для знаходження коефіцієнтів, одержаних наприкінці таблиці, нормованих на 1000 лампових люменів для посилення.

3. Різноманітні коефіцієнти залежать тільки від середньої кривої розподілу сили світла і лінійно належать до повної ефективності світильника, тому табульовані коефіцієнти можуть бути застосовані до світильників з подібно окресленими середніми розподілами сили світла разом із коригувальним множником, що дорівнює новій повній ефективності світильника, поділений на табульовану повну ефективність світильника. Використання поляризаційних лінз на люмінесцентних світильниках не впливає на коефіцієнти, подані в таблиці, за винятком певної ефективності світильника.

4. Задовільне встановлення залежить від багатьох факторів, включаючи оточуюче середовище використання простору й критерій світильника також, як і власне світильник. Таким чином, остаточні рекомендації по розташуванні не можуть бути призначені для світильника як такого. Представлені значення критеріїв розташування (Spacing Criterion – SC) є тільки загальними рекомендаціями. Величини SC не призначаються до напівпрямих і непрямих світильників, оскільки основа цієї техніки не застосовується до таких ситуацій. Значення SC також не призначають до тих bat-wing світильників, які мають бути розміщені за іншим критерієм, ніж горизонтальною освітленістю.

5. Ключ:

ρ_{CC} – коефіцієнт відбиття стелі приміщення (відсотки);

ρ_W – коефіцієнт відбиття стіни (відсотки);

ρ_{FC} – коефіцієнт відбиття підлоги приміщення (відсотки);

RCR – коефіцієнт кімнатного приміщення;

WDCR – коефіцієнт прямого випромінювання стіни;

SC – критерій розташування світильника;

NA – не застосований.

6. Ідентифікувальне число може відрізнятися із-за переопорядкування світильників. В деяких випадках дані модифікуються з погляду більш сучасної або повної інформації.

7. Ефективність світильників із люмінесцентними лампами і, отже, коефіцієнтів, є функцією кількості ламп у відношенні до розміру світильника. Це зумовлено температурними змінами і змінами в блокуванні світла. На цьому рисунку світильники з люмінесцентними лампами вибрані з типовими розмірами світильників і кількістю ламп, а також ідентифіковані за типовими кресленнями світильника. Зміна коефіцієнтів за розмірами і кількістю ламп залежить від багатьох деталей конструкції світильника. Наступні коригуючі коефіцієнти є середнім значенням для застосування до чотирилампового світильника шириною 610 мм (2 фт) (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Коригуючі коефіцієнти

Число ламп	Ширина, мм	Множник
8	1220	1,05
3	610	1,05
2	610	1,1
2	300	0,9

Помножуючи дані для двох лампових закритих світильників на 0,95, одержимо значення для чотирьох світильників.

Таблиця 5.4 – Коригуючі коефіцієнти для люмінесцентних ламп пониженої потужності

Світильник	Множник
2 ламповий стрічковий поверхневого монтування	1,03
4 ламповий троффер, закритий не кондиційований	1,07
4 ламповий, поверхневого монтування	1,07
2 ламповий промисловий, вентиляований	1,00

8. Фотометричні дані для світильників із люмінесцентними лампами в цій таблиці засновані на випробуваннях з використанням люмінесцентних ламп стандартної потужності. Люмінесцентні лампи зниженої потужності спричиняють нижчі температури функціонування ламп із деякими світильниками. Таким чином, ефективність і коефіцієнти можуть дещо збільшуватися. Бажано отримати специфічні коригувальні коефіцієнти від виробників. Типові коефіцієнти для люмінесцентних ламп пониженої

потужності (приблизно 10 % нижче потужності стандартної лампи) подано у таблиці 5.4.

Електронні баласты можуть бути сконструйовані для будь-яких довільних умов експлуатації. Виробникам має бути надана інформація про особливі умови використання світильників.


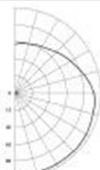

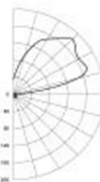
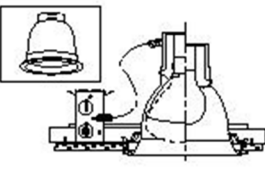
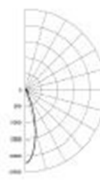
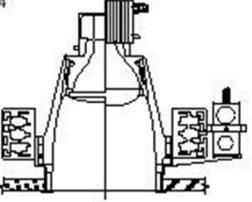
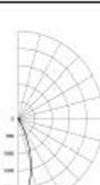
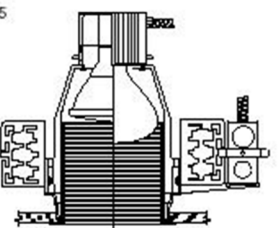

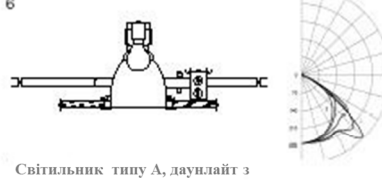
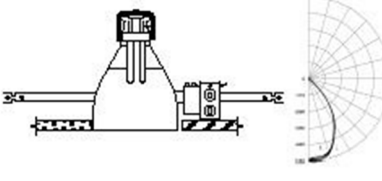
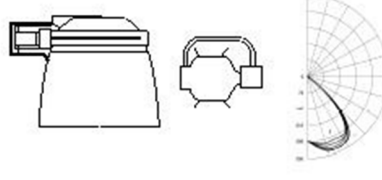
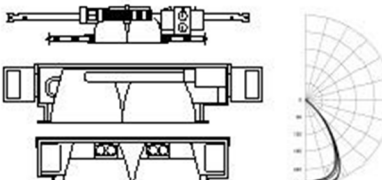
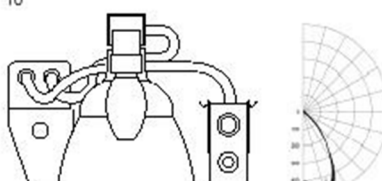










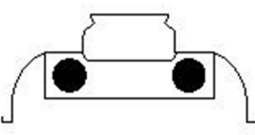
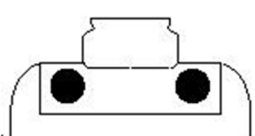

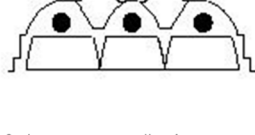
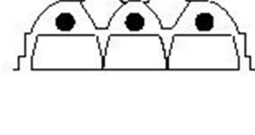
Типовий світильник	Типовий розподіл світла	$\rho_{CC} \rightarrow$	80			70			50			30			10			0
		$\rho_W \rightarrow$	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
		RCR ↓	Лампа = 150A211F SC (along, across, 45°) = 1.5, 1.5, 1.5															
 Підвісна дифузна сфера з лампою розжарювання (ЛР)		0	0.87	0.87	0.87	0.81	0.81	0.81	0.70	0.70	0.70	0.59	0.59	0.59	0.49	0.49	0.49	0.45
		1	0.76	0.71	0.66	0.70	0.66	0.61	0.56	0.52	0.50	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.30
		2	0.68	0.60	0.53	0.62	0.55	0.50	0.47	0.42	0.38	0.39	0.35	0.32	0.31	0.29	0.26	0.23
		3	0.61	0.52	0.44	0.56	0.48	0.41	0.40	0.35	0.31	0.33	0.29	0.26	0.27	0.24	0.21	0.18
		4	0.55	0.45	0.37	0.51	0.42	0.35	0.35	0.30	0.25	0.29	0.25	0.21	0.23	0.20	0.17	0.14
		5	0.51	0.40	0.32	0.46	0.37	0.30	0.31	0.25	0.21	0.26	0.21	0.18	0.21	0.17	0.14	0.10
		6	0.46	0.35	0.28	0.42	0.33	0.26	0.28	0.22	0.18	0.23	0.19	0.15	0.19	0.15	0.12	0.10
		7	0.43	0.32	0.25	0.39	0.29	0.23	0.25	0.20	0.16	0.21	0.16	0.13	0.17	0.13	0.11	0.09
		8	0.40	0.29	0.22	0.36	0.27	0.20	0.23	0.17	0.14	0.19	0.15	0.12	0.15	0.12	0.09	0.07
		9	0.37	0.26	0.19	0.34	0.24	0.18	0.21	0.16	0.12	0.17	0.13	0.10	0.14	0.11	0.08	0.07
		10	0.34	0.24	0.17	0.32	0.22	0.16	0.19	0.14	0.11	0.16	0.12	0.09	0.13	0.10	0.08	0.06
 Емальований фарфором стандартний купол з ЛР		Лампа = 100A21/5B SC (along, across, 45°) = N/A, N/A, N/A																
		EFF = 86.5% % DN = 4.0% % UP = 96.0%																
		0	0.99	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.93	0.93	0.93	0.89	0.89	0.89	0.85	0.85	0.85	0.83
		1	0.91	0.87	0.84	0.89	0.85	0.82	0.82	0.79	0.77	0.79	0.76	0.74	0.76	0.74	0.72	0.71
		2	0.83	0.76	0.70	0.80	0.74	0.69	0.71	0.67	0.63	0.69	0.65	0.62	0.66	0.63	0.60	0.59
		3	0.75	0.66	0.59	0.73	0.65	0.59	0.62	0.57	0.53	0.60	0.55	0.52	0.58	0.54	0.51	0.49
		4	0.69	0.58	0.51	0.67	0.57	0.50	0.55	0.49	0.44	0.53	0.48	0.44	0.51	0.47	0.43	0.41
		5	0.63	0.52	0.44	0.61	0.51	0.44	0.49	0.43	0.38	0.47	0.42	0.37	0.46	0.41	0.37	0.35
		6	0.58	0.46	0.39	0.56	0.46	0.38	0.44	0.38	0.33	0.43	0.37	0.33	0.41	0.36	0.32	0.31
		7	0.53	0.42	0.34	0.52	0.41	0.34	0.40	0.33	0.29	0.39	0.33	0.29	0.38	0.32	0.28	0.27
		8	0.50	0.38	0.31	0.48	0.37	0.31	0.36	0.30	0.26	0.35	0.30	0.25	0.34	0.29	0.25	0.24
9	0.46	0.35	0.28	0.45	0.34	0.28	0.33	0.27	0.23	0.32	0.27	0.23	0.32	0.26	0.23	0.21		
10	0.43	0.32	0.25	0.42	0.32	0.25	0.31	0.25	0.21	0.30	0.24	0.21	0.29	0.24	0.20	0.19		
 Відкрита лампа PAR038 заливаючого світла		Лампа = 150PAR38FL SC (along, across, 45°) = 0.6, 0.6, 0.6																
		EFF = 100% % DN = 100% % UP = 0%																
		0	1.20	1.20	1.20	1.17	1.17	1.17	1.12	1.12	1.12	1.07	1.07	1.07	1.03	1.03	1.03	1.00
		1	1.14	1.11	1.08	1.11	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00	1.01	0.99	0.97	0.97	0.96	0.95	0.93
		2	1.08	1.02	0.98	1.05	1.01	0.97	0.97	0.94	0.91	0.94	0.92	0.89	0.92	0.89	0.87	0.86
		3	1.02	0.95	0.90	1.00	0.94	0.89	0.91	0.87	0.84	0.89	0.85	0.82	0.86	0.84	0.81	0.79
		4	0.97	0.89	0.83	0.95	0.88	0.83	0.86	0.81	0.78	0.84	0.80	0.77	0.82	0.79	0.76	0.74
		5	0.92	0.84	0.78	0.91	0.83	0.77	0.81	0.76	0.72	0.79	0.75	0.72	0.78	0.74	0.71	0.70
		6	0.88	0.79	0.73	0.87	0.78	0.73	0.77	0.72	0.68	0.75	0.71	0.68	0.74	0.70	0.67	0.66
		7	0.84	0.75	0.69	0.83	0.74	0.69	0.73	0.68	0.64	0.72	0.67	0.64	0.71	0.67	0.64	0.62
		8	0.81	0.71	0.66	0.80	0.71	0.65	0.70	0.65	0.61	0.69	0.64	0.61	0.68	0.64	0.61	0.59
9	0.78	0.68	0.62	0.77	0.68	0.62	0.67	0.62	0.58	0.66	0.61	0.58	0.65	0.61	0.58	0.57		
10	0.75	0.65	0.60	0.74	0.65	0.59	0.64	0.59	0.56	0.63	0.59	0.56	0.63	0.58	0.55	0.54		
 PAR038 заливаючого світла з напів-дзеркальним анодованим відбивачем		Лампа = 150PAR38FL* SC (along, across, 45°) = 0.6, 0.6, 0.6																
		EFF = 66.2% % DN = 100 % UP = 0																
		0	1.10	1.10	1.10	1.07	1.07	1.07	1.02	1.02	1.02	0.98	0.98	0.98	0.94	0.94	0.94	0.92
		1	1.06	1.03	1.02	1.03	1.01	1.00	0.98	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90	0.88
		2	1.02	0.98	0.95	1.00	0.96	0.94	0.94	0.91	0.89	0.91	0.89	0.88	0.88	0.87	0.86	0.84
		3	0.98	0.93	0.90	0.96	0.92	0.89	0.90	0.87	0.85	0.88	0.85	0.83	0.86	0.84	0.82	0.81
		4	0.94	0.89	0.85	0.93	0.88	0.84	0.86	0.83	0.80	0.84	0.82	0.79	0.83	0.81	0.79	0.77
		5	0.91	0.85	0.81	0.90	0.84	0.80	0.83	0.79	0.77	0.81	0.78	0.76	0.80	0.77	0.75	0.74
		6	0.88	0.81	0.77	0.87	0.81	0.77	0.80	0.76	0.73	0.78	0.75	0.73	0.77	0.75	0.72	0.71
		7	0.85	0.78	0.74	0.84	0.78	0.74	0.77	0.73	0.70	0.76	0.72	0.70	0.75	0.72	0.70	0.69
		8	0.82	0.75	0.71	0.81	0.75	0.71	0.74	0.70	0.68	0.73	0.70	0.67	0.72	0.69	0.67	0.66
9	0.79	0.72	0.68	0.78	0.72	0.68	0.71	0.68	0.65	0.70	0.67	0.65	0.70	0.67	0.65	0.64		
10	0.77	0.70	0.66	0.76	0.69	0.65	0.69	0.65	0.63	0.68	0.65	0.62	0.68	0.65	0.62	0.61		
 PAR038 заливаючого світла з чорним дефлектором		Лампа = 150PAR38FL* SC (along, across, 45°) = 0.6, 0.6, 0.6																
		EFF = 66.2% % DN = 100 % UP = 0																
		0	0.79	0.79	0.79	0.77	0.77	0.77	0.74	0.74	0.74	0.70	0.70	0.70	0.68	0.68	0.68	0.66
		1	0.76	0.75	0.73	0.75	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.68	0.67	0.66	0.66	0.65	0.64
		2	0.74	0.71	0.69	0.72	0.70	0.68	0.68	0.67	0.65	0.66	0.65	0.64	0.64	0.63	0.63	0.62
		3	0.71	0.68	0.66	0.70	0.67	0.65	0.66	0.64	0.62	0.64	0.63	0.61	0.63	0.61	0.60	0.60
		4	0.69	0.65	0.63	0.68	0.65	0.62	0.63	0.61	0.60	0.62	0.60	0.59	0.61	0.60	0.58	0.58
		5	0.67	0.63	0.60	0.66	0.62	0.60	0.61	0.59	0.57	0.60	0.58	0.57	0.59	0.58	0.56	0.56
		6	0.65	0.61	0.58	0.64	0.60	0.58	0.59	0.57	0.55	0.59	0.57	0.55	0.58	0.56	0.55	0.54
		7	0.63	0.59	0.56	0.62	0.58	0.56	0.57	0.55	0.53	0.57	0.55	0.53	0.56	0.54	0.53	0.52
		8	0.61	0.57	0.54	0.60	0.56	0.54	0.56	0.53	0.52	0.55	0.53	0.52	0.55	0.53	0.51	0.51
9	0.59	0.55	0.52	0.59	0.55	0.52	0.54	0.52	0.50	0.54	0.51	0.50	0.53	0.51	0.50	0.49		
10	0.58	0.53	0.51	0.57	0.53	0.50	0.53	0.50	0.49	0.52	0.50	0.48	0.52	0.50	0.48	0.48		

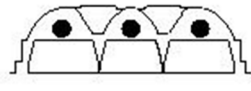
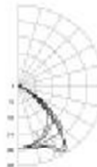
Рисунок 5.5 – Коефіцієнти використання для типових світильників

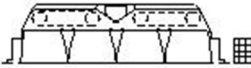
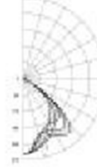
Типовий світильник	Типовий розподіл світла	$\rho_{cc} \rightarrow$	80			70			50			30			10			0
		$\rho_w \rightarrow$	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
		RCR ↓	Лампа= 150A21IF SC (along, across, 45°) = 1.2, 1.2, 1.1															
6		0	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.77	0.77	0.77	0.74	0.74	0.74	0.71	0.71	0.71	0.69
		1	0.78	0.76	0.75	0.77	0.75	0.73	0.72	0.71	0.70	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66	0.66	0.64
		2	0.74	0.71	0.68	0.73	0.70	0.67	0.67	0.65	0.63	0.65	0.63	0.62	0.63	0.62	0.61	0.59
		3	0.70	0.66	0.62	0.69	0.65	0.61	0.63	0.60	0.58	0.61	0.59	0.57	0.59	0.57	0.56	0.55
		4	0.66	0.61	0.57	0.65	0.60	0.56	0.58	0.55	0.53	0.57	0.54	0.52	0.56	0.53	0.51	0.50
		5	0.63	0.56	0.52	0.61	0.56	0.52	0.55	0.51	0.48	0.53	0.50	0.48	0.52	0.50	0.48	0.46
		6	0.59	0.53	0.48	0.58	0.52	0.48	0.51	0.47	0.45	0.50	0.47	0.44	0.49	0.46	0.44	0.43
		7	0.56	0.49	0.45	0.55	0.49	0.44	0.48	0.44	0.41	0.47	0.43	0.41	0.46	0.43	0.41	0.40
		8	0.53	0.46	0.41	0.52	0.45	0.41	0.45	0.41	0.38	0.44	0.40	0.38	0.43	0.40	0.38	0.37
		9	0.50	0.43	0.39	0.49	0.43	0.38	0.42	0.38	0.35	0.41	0.38	0.35	0.41	0.37	0.35	0.34
		10	0.47	0.40	0.36	0.47	0.40	0.36	0.39	0.36	0.33	0.39	0.35	0.33	0.38	0.35	0.33	0.32
7			Лампа= CF6/32 SC (along, across, 45°) = 1.1, 1.1, 1.1															
			EFF = 64.9%			% DN = 100%			% UP = 0%									
		0	0.77	0.77	0.77	0.75	0.75	0.75	0.72	0.72	0.72	0.69	0.69	0.69	0.66	0.66	0.66	0.65
		1	0.73	0.72	0.70	0.72	0.70	0.69	0.67	0.66	0.65	0.65	0.64	0.63	0.63	0.62	0.61	0.60
		2	0.69	0.66	0.63	0.68	0.65	0.62	0.63	0.61	0.59	0.61	0.59	0.58	0.59	0.58	0.57	0.55
		3	0.66	0.61	0.58	0.64	0.60	0.57	0.59	0.56	0.54	0.57	0.55	0.53	0.55	0.54	0.52	0.51
		4	0.62	0.57	0.53	0.61	0.56	0.52	0.55	0.51	0.49	0.53	0.51	0.48	0.52	0.50	0.48	0.47
		5	0.58	0.53	0.49	0.57	0.52	0.48	0.51	0.48	0.45	0.50	0.47	0.45	0.49	0.46	0.44	0.43
		6	0.55	0.49	0.45	0.54	0.48	0.45	0.47	0.44	0.41	0.46	0.43	0.41	0.46	0.43	0.41	0.40
		7	0.52	0.46	0.41	0.51	0.45	0.41	0.44	0.41	0.38	0.44	0.40	0.38	0.43	0.40	0.38	0.37
		8	0.49	0.43	0.38	0.48	0.42	0.38	0.42	0.38	0.35	0.41	0.38	0.35	0.40	0.37	0.35	0.34
		9	0.47	0.40	0.36	0.46	0.40	0.36	0.39	0.35	0.33	0.38	0.35	0.33	0.38	0.35	0.33	0.32
		10	0.44	0.37	0.33	0.44	0.37	0.33	0.37	0.33	0.31	0.36	0.33	0.30	0.36	0.33	0.30	0.29
8			Лампа= (2) CFQ26 SC (along, across, 45°) = 1.5, 1.6, 1.5															
			EFF = 61.6%			% DN = 100%			% UP = 0%									
		0	0.73	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.68	0.68	0.68	0.66	0.66	0.66	0.63	0.63	0.63	0.62
		1	0.69	0.67	0.66	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61	0.61	0.60	0.59	0.59	0.58	0.57	0.56
		2	0.65	0.61	0.59	0.64	0.60	0.58	0.58	0.56	0.54	0.56	0.55	0.53	0.55	0.53	0.52	0.51
		3	0.61	0.56	0.52	0.59	0.55	0.52	0.53	0.51	0.48	0.52	0.49	0.47	0.50	0.48	0.47	0.46
		4	0.57	0.51	0.47	0.56	0.50	0.47	0.49	0.46	0.43	0.48	0.45	0.43	0.47	0.44	0.42	0.41
		5	0.53	0.47	0.42	0.52	0.46	0.42	0.45	0.41	0.39	0.44	0.41	0.38	0.43	0.40	0.38	0.37
		6	0.50	0.43	0.38	0.48	0.42	0.38	0.41	0.38	0.35	0.40	0.37	0.35	0.40	0.37	0.34	0.33
		7	0.46	0.39	0.35	0.45	0.39	0.35	0.38	0.34	0.31	0.37	0.34	0.31	0.36	0.33	0.31	0.30
		8	0.43	0.36	0.32	0.42	0.36	0.32	0.35	0.31	0.29	0.34	0.31	0.28	0.34	0.31	0.28	0.27
		9	0.41	0.33	0.29	0.40	0.33	0.29	0.33	0.29	0.26	0.32	0.28	0.26	0.31	0.28	0.26	0.25
		10	0.38	0.31	0.27	0.37	0.31	0.27	0.30	0.26	0.24	0.30	0.26	0.24	0.29	0.26	0.24	0.23
9			Лампа= (2) CFQ26 SC (along, across, 45°) = 1.2, 1.2, 1.1															
			EFF = 40.2%			% DN = 100			% UP = 0									
		0	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.44	0.44	0.44	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40
		1	0.45	0.44	0.43	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37
		2	0.43	0.41	0.39	0.42	0.40	0.38	0.39	0.37	0.36	0.37	0.36	0.35	0.36	0.35	0.35	0.34
		3	0.40	0.37	0.35	0.39	0.37	0.35	0.36	0.34	0.33	0.35	0.33	0.32	0.34	0.33	0.32	0.31
		4	0.38	0.35	0.32	0.37	0.34	0.32	0.33	0.31	0.30	0.32	0.31	0.29	0.32	0.30	0.29	0.28
		5	0.36	0.32	0.29	0.35	0.32	0.29	0.31	0.29	0.27	0.30	0.28	0.27	0.30	0.28	0.27	0.26
		6	0.34	0.30	0.27	0.33	0.29	0.27	0.29	0.27	0.25	0.28	0.26	0.25	0.28	0.26	0.25	0.24
		7	0.32	0.28	0.25	0.31	0.27	0.25	0.27	0.25	0.23	0.26	0.24	0.23	0.26	0.24	0.23	0.22
		8	0.30	0.26	0.23	0.29	0.25	0.23	0.25	0.23	0.21	0.25	0.23	0.21	0.24	0.22	0.21	0.20
		9	0.28	0.24	0.21	0.28	0.24	0.21	0.23	0.21	0.20	0.23	0.21	0.19	0.23	0.21	0.19	0.19
		10	0.27	0.22	0.20	0.26	0.22	0.20	0.22	0.20	0.18	0.22	0.20	0.18	0.21	0.19	0.18	0.17
10			Лампа= M100/CAU SC (along, across, 45°) = 1.2, 1.2, 1.1															
			EFF = 63.8%			% DN = 78.4			% UP = 21.6									
		0	0.76	0.76	0.76	0.74	0.74	0.74	0.71	0.71	0.71	0.68	0.68	0.68	0.65	0.65	0.65	0.64
		1	0.72	0.70	0.68	0.70	0.69	0.67	0.66	0.65	0.64	0.64	0.63	0.62	0.61	0.61	0.60	0.59
		2	0.68	0.64	0.62	0.66	0.63	0.61	0.61	0.59	0.57	0.59	0.57	0.56	0.57	0.56	0.55	0.54
		3	0.64	0.59	0.56	0.63	0.58	0.55	0.57	0.54	0.52	0.55	0.53	0.51	0.54	0.52	0.50	0.49
		4	0.60	0.55	0.51	0.59	0.54	0.50	0.52	0.49	0.47	0.51	0.48	0.46	0.50	0.48	0.46	0.45
		5	0.57	0.51	0.46	0.55	0.50	0.46	0.49	0.45	0.43	0.48	0.45	0.42	0.47	0.44	0.42	0.41
		6	0.53	0.47	0.43	0.52	0.46	0.42	0.45	0.42	0.39	0.44	0.41	0.39	0.43	0.41	0.38	0.37
		7	0.50	0.43	0.39	0.49	0.43	0.39	0.42	0.39	0.36	0.41	0.38	0.36	0.41	0.38	0.35	0.34
		8	0.47	0.41	0.36	0.46	0.40	0.36	0.39	0.36	0.33	0.39	0.35	0.33	0.38	0.35	0.33	0.32
		9	0.45	0.38	0.34	0.44	0.37	0.33	0.37	0.33	0.31	0.36	0.33	0.31	0.36	0.33	0.30	0.29
		10	0.42	0.35	0.31	0.42	0.35	0.31	0.35	0.31	0.28	0.34	0.31	0.28	0.34	0.30	0.28	0.27

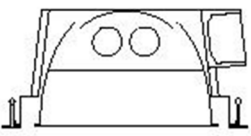
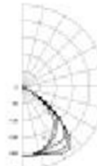
Типовий світильник	Типовий розподіл світла	80			70			50			30			10			0											
		70			50			30			10			50			0											
		Лампа - 22 & 32W circ*																										
RCR		SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.3, 1.5																										
		EFF = 55.9%			% DN = 76.2%			% UP = 23.8%																				
11		0	0.63	0.63	0.63	0.60	0.60	0.60	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45	0.45	0.43										
		1	0.57	0.54	0.51	0.54	0.51	0.48	0.46	0.44	0.42	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36	0.35	0.33										
		2	0.51	0.46	0.42	0.48	0.44	0.40	0.40	0.37	0.34	0.36	0.33	0.31	0.32	0.30	0.29	0.27										
		3	0.46	0.40	0.35	0.44	0.38	0.34	0.35	0.31	0.28	0.31	0.28	0.26	0.28	0.26	0.24	0.22										
		4	0.42	0.35	0.30	0.40	0.34	0.29	0.31	0.27	0.24	0.28	0.24	0.22	0.25	0.22	0.20	0.17										
		5	0.39	0.31	0.26	0.37	0.30	0.25	0.27	0.23	0.20	0.25	0.21	0.19	0.22	0.20	0.17	0.14										
		6	0.36	0.28	0.23	0.34	0.27	0.22	0.24	0.20	0.18	0.22	0.19	0.16	0.20	0.17	0.15	0.14										
		7	0.33	0.26	0.20	0.31	0.24	0.20	0.22	0.18	0.15	0.20	0.17	0.14	0.18	0.16	0.13	0.12										
		8	0.31	0.23	0.18	0.29	0.22	0.18	0.20	0.16	0.14	0.18	0.15	0.13	0.17	0.14	0.12	0.11										
		9	0.28	0.21	0.16	0.27	0.20	0.16	0.18	0.15	0.12	0.17	0.14	0.11	0.16	0.13	0.11	0.10										
		10	0.27	0.19	0.15	0.25	0.19	0.14	0.17	0.13	0.11	0.16	0.13	0.10	0.14	0.12	0.10	0.09										
Диск, що монтується на поверхню, КЛЛ		Лампа - M400/C/U																										
12		SC (along, across, 45°) = 1.1, 1.1, 1.1																										
		EFF = 87.5%			% DN = 95.9%			% UP = 1.6%																				
		0	1.04	1.04	1.04	1.01	1.01	1.01	0.96	0.96	0.96	0.92	0.92	0.92	0.88	0.88	0.88	0.86										
		1	0.98	0.95	0.93	0.96	0.93	0.91	0.89	0.87	0.86	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.78										
		2	0.92	0.87	0.83	0.90	0.85	0.82	0.82	0.79	0.76	0.79	0.77	0.74	0.77	0.75	0.73	0.71										
		3	0.86	0.80	0.75	0.84	0.78	0.74	0.76	0.72	0.69	0.73	0.70	0.67	0.71	0.68	0.66	0.64										
		4	0.81	0.73	0.68	0.79	0.72	0.67	0.70	0.66	0.62	0.68	0.64	0.61	0.66	0.63	0.60	0.59										
		5	0.76	0.68	0.62	0.74	0.67	0.61	0.65	0.60	0.56	0.63	0.59	0.56	0.62	0.58	0.55	0.54										
		6	0.72	0.63	0.57	0.70	0.62	0.56	0.60	0.55	0.52	0.59	0.54	0.51	0.57	0.54	0.51	0.49										
		7	0.67	0.58	0.52	0.66	0.58	0.52	0.56	0.51	0.47	0.55	0.50	0.47	0.54	0.50	0.47	0.45										
		8	0.64	0.54	0.48	0.62	0.54	0.48	0.53	0.47	0.44	0.51	0.47	0.43	0.50	0.46	0.43	0.42										
		9	0.60	0.51	0.45	0.59	0.50	0.45	0.49	0.44	0.41	0.48	0.44	0.40	0.47	0.43	0.40	0.39										
		10	0.57	0.48	0.42	0.56	0.47	0.42	0.46	0.41	0.38	0.45	0.41	0.38	0.45	0.40	0.37	0.36										
Хай-бей, відкритий металевий рефлектор, вузький		Лампа - M400/C/U																										
13		SC (along, across, 45°) = 1.6, 1.6, 1.4																										
		EFF = 83.9%			% DN = 95.2%			% UP = 4.8%																				
		0	0.99	0.99	0.99	0.96	0.96	0.96	0.91	0.91	0.91	0.86	0.86	0.86	0.82	0.82	0.82	0.80										
		1	0.93	0.90	0.87	0.90	0.88	0.85	0.83	0.81	0.80	0.80	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.72										
		2	0.86	0.81	0.77	0.84	0.79	0.75	0.76	0.73	0.70	0.73	0.70	0.68	0.70	0.68	0.66	0.64										
		3	0.80	0.73	0.68	0.78	0.72	0.67	0.65	0.65	0.61	0.66	0.63	0.60	0.64	0.61	0.58	0.57										
		4	0.75	0.67	0.61	0.73	0.65	0.60	0.63	0.58	0.54	0.61	0.57	0.53	0.58	0.55	0.52	0.51										
		5	0.70	0.61	0.54	0.68	0.59	0.54	0.57	0.52	0.48	0.55	0.51	0.48	0.54	0.50	0.47	0.45										
		6	0.65	0.55	0.49	0.63	0.54	0.48	0.53	0.47	0.43	0.51	0.46	0.43	0.49	0.45	0.42	0.41										
		7	0.60	0.51	0.44	0.59	0.50	0.44	0.48	0.43	0.39	0.47	0.42	0.39	0.45	0.41	0.38	0.37										
		8	0.56	0.47	0.40	0.55	0.46	0.40	0.44	0.39	0.35	0.43	0.38	0.35	0.42	0.38	0.34	0.33										
		9	0.53	0.43	0.37	0.52	0.42	0.36	0.41	0.36	0.32	0.40	0.35	0.32	0.39	0.35	0.31	0.30										
		10	0.50	0.40	0.34	0.48	0.39	0.33	0.38	0.33	0.29	0.37	0.32	0.29	0.36	0.32	0.29	0.27										
Хай-бей, відкритий примітний рефлектор, середній		Лампа - M400/C/U																										
14		SC (along, across, 45°) = 1.9, 1.9, 1.7																										
		EFF = 83.8%			% DN = 97			% UP = 3																				
		0	0.99	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.92	0.92	0.92	0.87	0.87	0.87	0.83	0.83	0.83	0.81										
		1	0.92	0.89	0.86	0.90	0.87	0.84	0.83	0.81	0.79	0.80	0.78	0.76	0.76	0.75	0.74	0.72										
		2	0.85	0.80	0.75	0.83	0.78	0.73	0.75	0.71	0.68	0.72	0.69	0.66	0.69	0.66	0.64	0.62										
		3	0.79	0.71	0.65	0.76	0.70	0.64	0.67	0.62	0.58	0.64	0.60	0.57	0.62	0.59	0.56	0.54										
		4	0.72	0.63	0.57	0.70	0.62	0.56	0.60	0.55	0.51	0.58	0.53	0.50	0.56	0.52	0.49	0.47										
		5	0.67	0.57	0.50	0.65	0.56	0.50	0.54	0.48	0.44	0.52	0.47	0.43	0.50	0.46	0.43	0.41										
		6	0.62	0.51	0.44	0.60	0.50	0.44	0.49	0.43	0.39	0.47	0.42	0.38	0.46	0.41	0.38	0.36										
		7	0.57	0.46	0.40	0.56	0.46	0.39	0.44	0.38	0.34	0.43	0.38	0.34	0.42	0.37	0.33	0.32										
		8	0.53	0.42	0.35	0.52	0.42	0.35	0.40	0.34	0.30	0.39	0.34	0.30	0.38	0.33	0.30	0.28										
		9	0.49	0.39	0.32	0.48	0.38	0.32	0.37	0.31	0.27	0.36	0.31	0.27	0.35	0.30	0.27	0.25										
		10	0.46	0.35	0.29	0.45	0.35	0.29	0.34	0.28	0.24	0.33	0.28	0.24	0.32	0.27	0.24	0.22										
Хай-бей, відкритий примітний рефлектор, вузький		Лампа - M400/C/U																										
15		SC (along, across, 45°) = 1.1, 1.1, 1.1																										
		EFF = 61.4%			% DN = 80.6			% UP = 19.4																				
		0	0.70	0.70	0.70	0.67	0.67	0.67	0.62	0.62	0.62	0.56	0.56	0.56	0.52	0.52	0.52	0.49										
		1	0.65	0.62	0.60	0.62	0.59	0.57	0.55	0.53	0.52	0.50	0.49	0.48	0.46	0.45	0.44	0.42										
		2	0.60	0.55	0.52	0.57	0.53	0.50	0.49	0.47	0.45	0.46	0.44	0.42	0.42	0.41	0.39	0.37										
		3	0.56	0.50	0.46	0.53	0.48	0.44	0.45	0.42	0.39	0.42	0.39	0.37	0.39	0.37	0.35	0.33										
		4	0.52	0.45	0.41	0.49	0.44	0.40	0.41	0.38	0.35	0.38	0.35	0.33	0.36	0.33	0.32	0.30										
		5	0.48	0.41	0.37	0.46	0.40	0.36	0.38	0.34	0.31	0.35	0.32	0.30	0.33	0.31	0.29	0.27										
		6	0.45	0.38	0.33	0.43	0.37	0.33	0.35	0.31	0.28	0.33	0.30	0.27	0.31	0.28	0.26	0.25										
		7	0.42	0.35	0.3																							

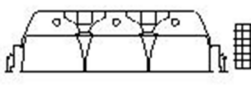

Типовий світильник	Типовий розподіл світла	RCR ↓	80			70			50			30			10			0		
			70			50			30			10			50			30		
			Лампа- M400/CAU SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.3, 1.2																	
		0	0.67	0.67	0.67	0.64	0.64	0.64	0.58	0.58	0.58	0.53	0.53	0.53	0.48	0.48	0.48	0.46	0.46	0.46
		1	0.62	0.59	0.57	0.59	0.57	0.55	0.52	0.50	0.49	0.48	0.46	0.45	0.43	0.43	0.42	0.40	0.40	0.40
		2	0.57	0.53	0.50	0.55	0.51	0.48	0.47	0.45	0.43	0.43	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.35	0.35	0.35
		3	0.53	0.48	0.44	0.51	0.46	0.43	0.43	0.40	0.37	0.40	0.37	0.35	0.36	0.35	0.33	0.31	0.31	0.31
		4	0.50	0.44	0.39	0.47	0.42	0.38	0.39	0.36	0.33	0.36	0.34	0.32	0.34	0.32	0.30	0.28	0.28	0.28
		5	0.46	0.40	0.35	0.44	0.38	0.34	0.36	0.33	0.30	0.33	0.31	0.28	0.31	0.29	0.27	0.26	0.26	0.26
		6	0.43	0.37	0.32	0.41	0.35	0.31	0.33	0.30	0.27	0.31	0.28	0.26	0.29	0.27	0.25	0.23	0.23	0.23
		7	0.40	0.34	0.29	0.39	0.33	0.28	0.31	0.27	0.25	0.29	0.26	0.24	0.27	0.24	0.23	0.21	0.21	0.21
		8	0.38	0.31	0.27	0.36	0.30	0.26	0.28	0.25	0.22	0.27	0.24	0.22	0.25	0.23	0.21	0.20	0.20	0.20
		9	0.36	0.29	0.24	0.34	0.28	0.24	0.26	0.23	0.21	0.25	0.22	0.20	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.18
		10	0.33	0.27	0.23	0.32	0.26	0.22	0.24	0.21	0.19	0.23	0.20	0.18	0.22	0.19	0.18	0.17	0.17	0.17
Хай-бей, відкритий призматичний рефлектор, середній																				
		Лампа- M400/CAU EFF = 61.5% % DN = 83.7% % UP = 16.3% SC (along, across, 45°) = 2.2, 2.2, 1.8																		
		0	0.71	0.71	0.71	0.66	0.66	0.66	0.63	0.63	0.63	0.58	0.58	0.58	0.54	0.54	0.54	0.51	0.51	0.51
		1	0.65	0.62	0.59	0.62	0.59	0.57	0.55	0.53	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.43	0.43
		2	0.59	0.55	0.51	0.57	0.53	0.49	0.49	0.46	0.43	0.45	0.43	0.41	0.42	0.40	0.39	0.37	0.37	0.37
		3	0.54	0.48	0.44	0.52	0.47	0.42	0.43	0.40	0.37	0.40	0.38	0.35	0.36	0.35	0.33	0.32	0.32	0.32
		4	0.50	0.43	0.38	0.48	0.42	0.37	0.39	0.35	0.32	0.36	0.33	0.30	0.34	0.31	0.29	0.27	0.27	0.27
		5	0.46	0.38	0.33	0.44	0.37	0.32	0.35	0.31	0.27	0.32	0.29	0.26	0.30	0.27	0.25	0.24	0.24	0.24
		6	0.42	0.34	0.29	0.40	0.33	0.28	0.31	0.27	0.24	0.29	0.26	0.23	0.27	0.24	0.22	0.21	0.21	0.21
		7	0.39	0.31	0.26	0.37	0.30	0.25	0.28	0.24	0.21	0.27	0.23	0.20	0.25	0.22	0.19	0.18	0.18	0.18
		8	0.36	0.28	0.23	0.35	0.27	0.22	0.26	0.21	0.18	0.24	0.20	0.18	0.23	0.19	0.17	0.16	0.16	0.16
		9	0.34	0.25	0.21	0.32	0.25	0.20	0.23	0.19	0.16	0.22	0.18	0.16	0.21	0.18	0.15	0.14	0.14	0.14
10	0.31	0.23	0.19	0.30	0.23	0.18	0.21	0.17	0.15	0.20	0.17	0.14	0.19	0.16	0.14	0.12	0.12	0.12		
Хай-бей, відкритий призматичний рефлектор, широкий																				
		Лампа- M400/CAU EFF = 72.5% % DN = 97.8% % UP = 2.2% SC (along, across, 45°) = 1.7, 1.7, 1.7																		
		0	0.86	0.86	0.86	0.84	0.84	0.84	0.80	0.80	0.80	0.76	0.76	0.76	0.73	0.73	0.73	0.71	0.71	0.71
		1	0.78	0.75	0.71	0.76	0.73	0.70	0.69	0.67	0.65	0.66	0.64	0.63	0.63	0.62	0.60	0.59	0.59	0.59
		2	0.71	0.65	0.60	0.69	0.63	0.59	0.60	0.56	0.53	0.58	0.54	0.52	0.55	0.53	0.50	0.49	0.49	0.49
		3	0.64	0.56	0.50	0.62	0.55	0.50	0.53	0.48	0.44	0.51	0.46	0.43	0.48	0.45	0.42	0.40	0.40	0.40
		4	0.59	0.50	0.43	0.57	0.49	0.42	0.47	0.41	0.37	0.45	0.40	0.36	0.43	0.39	0.36	0.34	0.34	0.34
		5	0.54	0.44	0.37	0.52	0.43	0.37	0.41	0.36	0.32	0.40	0.35	0.31	0.38	0.34	0.31	0.29	0.29	0.29
		6	0.49	0.39	0.33	0.48	0.39	0.32	0.37	0.31	0.27	0.36	0.31	0.27	0.34	0.30	0.26	0.25	0.25	0.25
		7	0.46	0.35	0.29	0.44	0.35	0.28	0.33	0.28	0.24	0.32	0.27	0.23	0.31	0.27	0.23	0.22	0.22	0.22
		8	0.42	0.32	0.26	0.41	0.31	0.25	0.30	0.25	0.21	0.29	0.24	0.21	0.28	0.24	0.21	0.19	0.19	0.19
		9	0.39	0.29	0.23	0.38	0.29	0.23	0.28	0.22	0.19	0.27	0.22	0.18	0.26	0.22	0.18	0.17	0.17	0.17
10	0.37	0.27	0.21	0.36	0.26	0.21	0.26	0.20	0.17	0.25	0.20	0.17	0.24	0.20	0.16	0.15	0.15	0.15		
Лов-бей, з крапальною лінійкою, вузький																				
		Лампа- M175/C* EFF = 75.3% % DN = 8.1 % UP = 91.9 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.3, 1.5																		
		0	0.73	0.73	0.73	0.63	0.63	0.63	0.45	0.45	0.45	0.29	0.29	0.29	0.13	0.13	0.13	0.06	0.06	0.06
		1	0.66	0.63	0.60	0.57	0.55	0.52	0.39	0.38	0.36	0.25	0.24	0.23	0.11	0.11	0.11	0.05	0.05	0.05
		2	0.60	0.55	0.51	0.52	0.48	0.44	0.34	0.32	0.30	0.21	0.20	0.19	0.10	0.09	0.09	0.04	0.04	0.04
		3	0.55	0.48	0.43	0.47	0.42	0.37	0.30	0.27	0.25	0.19	0.17	0.16	0.09	0.08	0.07	0.03	0.03	0.03
		4	0.50	0.42	0.37	0.43	0.37	0.32	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.08	0.07	0.06	0.02	0.02	0.02
		5	0.46	0.37	0.32	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.18	0.15	0.13	0.11	0.07	0.06	0.05	0.02	0.02	0.02
		6	0.42	0.33	0.28	0.36	0.29	0.24	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.06	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02
		7	0.39	0.30	0.24	0.33	0.26	0.21	0.19	0.16	0.13	0.12	0.10	0.09	0.05	0.05	0.04	0.02	0.02	0.02
		8	0.36	0.27	0.21	0.31	0.23	0.19	0.17	0.14	0.12	0.11	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01
		9	0.33	0.24	0.19	0.28	0.21	0.17	0.15	0.12	0.10	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01
10	0.31	0.22	0.17	0.26	0.19	0.15	0.14	0.11	0.09	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01		
Світла підвісна чаша, МГЛ																				
		Лампа- (4) FT30* EFF = 81.5% % DN = 15.3 % UP = 84.7 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.3, 1.5																		
		0	0.81	0.81	0.81	0.71	0.71	0.71	0.52	0.52	0.52	0.35	0.35	0.35	0.20	0.20	0.20	0.13	0.13	0.13
		1	0.73	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.45	0.43	0.42	0.30	0.29	0.28	0.17	0.16	0.16	0.10	0.10	0.10
		2	0.66	0.60	0.55	0.58	0.53	0.49	0.39	0.36	0.34	0.26	0.25	0.23	0.15	0.14	0.13	0.08	0.08	0.08
		3	0.60	0.53	0.47	0.53	0.46	0.42	0.34	0.31	0.29	0.23	0.21	0.20	0.13	0.12	0.11	0.06	0.06	0.06
		4	0.55	0.47	0.40	0.48	0.41	0.36	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.17	0.11	0.10	0.09	0.05	0.05	0.05
		5	0.50	0.41	0.35	0.44	0.36	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.10	0.09	0.08	0.05	0.05	0.05
		6	0.46	0.37	0.30	0.40	0.32	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	0.09	0.08	0.07	0.04	0.04	0.04
		7	0.42	0.33	0.27	0.37	0.29	0.24	0.22	0.18	0.15	0.15	0.12	0.11	0.08	0.07	0.06	0.04	0.04	0.04
		8	0.39	0.30	0.24	0.34	0.26	0.21	0.20	0.16	0.13	0.13	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.03	0.03	0.03
		9	0.36	0.27	0.21	0.32	0.24	0.19	0.18	0.14	0.12	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03	0.03	0.03
10	0.34	0.25	0.19	0.30	0.22	0.17	0.16	0.13	0.11	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03		
Світла підвісна чаша, КУЛІ																				

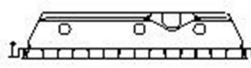

Типовий світильник	Типовий розподіл світла	$\rho_{cc} \rightarrow$			80			70			50			30			10			0
		$\rho_w \rightarrow$			70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
		RCR \downarrow			Лампа = (2) F40T12 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.5, 1.5															
21					EFF = 90.5%	% DN = 78.2%			% UP = 21.8%											
		0	1.03	1.03	1.03	0.98	0.98	0.98	0.90	0.90	0.90	0.82	0.82	0.82	0.74	0.74	0.74	0.71		
		1	0.93	0.89	0.85	0.89	0.85	0.81	0.77	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.64	0.62	0.61	0.58		
		2	0.84	0.77	0.71	0.80	0.74	0.68	0.67	0.63	0.59	0.61	0.58	0.54	0.56	0.53	0.50	0.47		
		3	0.77	0.67	0.60	0.73	0.64	0.58	0.59	0.53	0.49	0.54	0.49	0.45	0.49	0.45	0.42	0.40		
		4	0.70	0.59	0.51	0.66	0.57	0.50	0.52	0.46	0.41	0.48	0.43	0.39	0.44	0.39	0.36	0.33		
		5	0.64	0.53	0.45	0.61	0.51	0.43	0.46	0.40	0.35	0.43	0.37	0.33	0.39	0.35	0.31	0.29		
		6	0.59	0.47	0.39	0.56	0.45	0.38	0.42	0.35	0.31	0.38	0.33	0.29	0.35	0.31	0.27	0.25		
		7	0.55	0.43	0.35	0.52	0.41	0.34	0.38	0.32	0.27	0.35	0.30	0.26	0.32	0.28	0.24	0.22		
		8	0.51	0.39	0.31	0.48	0.37	0.30	0.34	0.28	0.24	0.32	0.27	0.23	0.29	0.25	0.21	0.19		
		9	0.47	0.35	0.28	0.45	0.34	0.27	0.32	0.26	0.21	0.29	0.24	0.20	0.27	0.23	0.19	0.17		
		10	0.44	0.33	0.26	0.42	0.31	0.25	0.29	0.23	0.19	0.27	0.22	0.18	0.25	0.21	0.17	0.16		
22					EFF = 86.9%	% DN = 100%			% UP = 0%			Лампа = (2) F40T12 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.5, 1.5								
		0	1.03	1.03	1.03	1.01	1.01	1.01	0.97	0.97	0.97	0.92	0.92	0.92	0.89	0.89	0.89	0.87		
		1	0.94	0.90	0.86	0.92	0.88	0.84	0.84	0.81	0.79	0.81	0.79	0.76	0.78	0.76	0.74	0.72		
		2	0.85	0.78	0.72	0.83	0.76	0.70	0.73	0.68	0.64	0.70	0.66	0.63	0.67	0.64	0.61	0.59		
		3	0.77	0.68	0.60	0.75	0.66	0.59	0.64	0.58	0.53	0.61	0.56	0.52	0.59	0.55	0.51	0.49		
		4	0.70	0.60	0.52	0.68	0.58	0.51	0.56	0.50	0.45	0.54	0.48	0.44	0.52	0.47	0.43	0.41		
		5	0.65	0.53	0.45	0.63	0.52	0.44	0.50	0.43	0.38	0.48	0.42	0.38	0.47	0.41	0.37	0.35		
		6	0.59	0.47	0.39	0.58	0.47	0.39	0.45	0.38	0.33	0.43	0.37	0.33	0.42	0.37	0.32	0.31		
		7	0.55	0.43	0.35	0.53	0.42	0.35	0.41	0.34	0.29	0.39	0.33	0.29	0.38	0.33	0.29	0.27		
		8	0.51	0.39	0.31	0.50	0.38	0.31	0.37	0.30	0.26	0.36	0.30	0.26	0.35	0.29	0.25	0.24		
		9	0.48	0.36	0.28	0.46	0.35	0.28	0.33	0.28	0.23	0.33	0.27	0.23	0.32	0.27	0.23	0.21		
		10	0.45	0.33	0.26	0.43	0.32	0.25	0.31	0.25	0.21	0.31	0.25	0.21	0.30	0.24	0.21	0.19		
23					EFF = 89.3%	% DN = 86.4%			% UP = 13.6%			Лампа = (2) F40T12 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.5, 1.6								
		0	1.03	1.03	1.03	1.00	1.00	1.00	0.92	0.92	0.92	0.86	0.86	0.86	0.80	0.80	0.80	0.77		
		1	0.93	0.88	0.83	0.89	0.84	0.80	0.73	0.70	0.68	0.71	0.69	0.68	0.67	0.65	0.63	0.61		
		2	0.83	0.75	0.68	0.80	0.72	0.66	0.67	0.62	0.58	0.62	0.58	0.55	0.58	0.55	0.52	0.49		
		3	0.75	0.65	0.57	0.72	0.63	0.56	0.58	0.52	0.47	0.54	0.49	0.45	0.50	0.46	0.43	0.40		
		4	0.69	0.57	0.49	0.65	0.55	0.47	0.51	0.45	0.40	0.48	0.42	0.38	0.44	0.40	0.36	0.34		
		5	0.63	0.51	0.42	0.60	0.49	0.41	0.46	0.39	0.34	0.43	0.37	0.32	0.40	0.35	0.31	0.29		
		6	0.58	0.45	0.37	0.55	0.44	0.36	0.41	0.34	0.29	0.38	0.32	0.28	0.36	0.31	0.27	0.25		
		7	0.53	0.41	0.33	0.51	0.40	0.32	0.37	0.30	0.26	0.35	0.29	0.25	0.33	0.27	0.24	0.22		
		8	0.50	0.37	0.29	0.47	0.36	0.29	0.34	0.27	0.23	0.32	0.26	0.22	0.30	0.25	0.21	0.19		
		9	0.46	0.34	0.26	0.44	0.33	0.26	0.31	0.25	0.20	0.29	0.24	0.19	0.27	0.22	0.19	0.17		
		10	0.43	0.31	0.24	0.41	0.30	0.23	0.29	0.22	0.18	0.27	0.21	0.18	0.25	0.20	0.17	0.15		
24					EFF = 72.7%	% DN = 100			% UP = 0			Лампа = (3) F32T8 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.6, 1.6								
		0	0.87	0.87	0.87	0.85	0.85	0.85	0.81	0.81	0.81	0.77	0.77	0.77	0.74	0.74	0.74	0.73		
		1	0.81	0.78	0.76	0.79	0.77	0.74	0.74	0.72	0.70	0.71	0.69	0.68	0.68	0.67	0.66	0.65		
		2	0.75	0.70	0.66	0.73	0.69	0.65	0.66	0.63	0.61	0.64	0.61	0.59	0.62	0.60	0.58	0.57		
		3	0.69	0.63	0.58	0.68	0.62	0.57	0.60	0.56	0.52	0.58	0.54	0.52	0.56	0.53	0.51	0.49		
		4	0.64	0.56	0.51	0.62	0.55	0.50	0.54	0.49	0.46	0.52	0.48	0.45	0.51	0.47	0.44	0.43		
		5	0.59	0.51	0.45	0.58	0.50	0.44	0.48	0.44	0.40	0.47	0.43	0.40	0.46	0.42	0.39	0.38		
		6	0.55	0.46	0.40	0.53	0.45	0.40	0.44	0.39	0.35	0.43	0.38	0.35	0.42	0.38	0.35	0.33		
		7	0.51	0.42	0.36	0.50	0.41	0.36	0.40	0.35	0.31	0.39	0.35	0.31	0.38	0.34	0.31	0.30		
		8	0.47	0.38	0.32	0.46	0.38	0.32	0.37	0.32	0.28	0.36	0.31	0.28	0.35	0.31	0.28	0.27		
		9	0.44	0.35	0.29	0.43	0.35	0.29	0.34	0.29	0.25	0.33	0.29	0.25	0.32	0.28	0.25	0.24		
		10	0.41	0.32	0.27	0.40	0.32	0.27	0.31	0.26	0.23	0.31	0.26	0.23	0.30	0.26	0.23	0.22		
25					EFF = 66.2%	% DN = 100			% UP = 0			Лампа = (3) F40T12 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.6, 1.5								
		0	0.79	0.79	0.79	0.77	0.77	0.77	0.74	0.74	0.74	0.70	0.70	0.70	0.68	0.68	0.68	0.66		
		1	0.74	0.72	0.69	0.72	0.70	0.68	0.67	0.66	0.64	0.65	0.64	0.62	0.62	0.61	0.61	0.59		
		2	0.69	0.64	0.61	0.67	0.63	0.60	0.61	0.58	0.56	0.59	0.57	0.55	0.57	0.55	0.53	0.52		
		3	0.63	0.58	0.53	0.62	0.57	0.53	0.55	0.51	0.48	0.53	0.50	0.48	0.52	0.49	0.47	0.46		
		4	0.59	0.52	0.47	0.57	0.51	0.47	0.50	0.46	0.42	0.48	0.45	0.42	0.47	0.44	0.41	0.40		
		5	0.54	0.47	0.42	0.53	0.46	0.41	0.45	0.41	0.37	0.44	0.40	0.37	0.43	0.39	0.37	0.35		
		6	0.50	0.43	0.37	0.49	0.42	0.37	0.41	0.36	0.33	0.40	0.36	0.33	0.39	0.35	0.33	0.31		
		7	0.47	0.39	0.33	0.46	0.38	0.33	0.37	0.33	0.30	0.36	0.32	0.29	0.35	0.32	0.29	0.28		
		8	0.44	0.35	0.30	0.43	0.35	0.30	0.34	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	0.33	0.29	0.26	0.25		
		9	0.41	0.33	0.27	0.40	0.32	0.27	0.31	0.27	0.24	0.31	0.27	0.24	0.30	0.26	0.24	0.23		
		10	0.38	0.30	0.25	0.37	0.30	0.25	0.29	0.25	0.22	0.28	0.24	0.22	0.28	0.24	0.22	0.20		

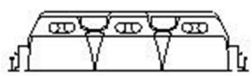
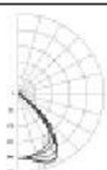
Типовий світильник	Типовий розподіл світла	$\rho_{cc} \rightarrow$	80			70			50			30			10			0
		$\rho_w \rightarrow$	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
		RCR ↓	EFF = 67.8%			% DN = 100%			% UP = 0%			Лампа = (3) FT40 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.6, 1.6						
 2x2, трьохламповий світильник, з 3" напів-дзеркальним відбиваючими жалюзіями, 9 кліток		0	0.81	0.81	0.81	0.79	0.79	0.79	0.75	0.75	0.75	0.72	0.72	0.72	0.69	0.69	0.69	0.68
		1	0.75	0.73	0.71	0.74	0.71	0.69	0.69	0.67	0.66	0.66	0.65	0.64	0.64	0.63	0.62	0.60
		2	0.70	0.65	0.62	0.68	0.64	0.61	0.62	0.59	0.57	0.60	0.57	0.55	0.58	0.56	0.54	0.53
		3	0.65	0.59	0.54	0.63	0.58	0.53	0.56	0.52	0.49	0.54	0.51	0.48	0.52	0.50	0.47	0.46
		4	0.60	0.53	0.48	0.58	0.52	0.47	0.50	0.46	0.43	0.49	0.45	0.42	0.47	0.44	0.42	0.40
		5	0.55	0.47	0.42	0.54	0.47	0.42	0.45	0.41	0.38	0.44	0.40	0.37	0.43	0.40	0.37	0.35
		6	0.51	0.43	0.38	0.50	0.42	0.37	0.41	0.37	0.33	0.40	0.36	0.33	0.39	0.36	0.33	0.31
		7	0.47	0.39	0.34	0.46	0.39	0.33	0.38	0.33	0.30	0.37	0.32	0.29	0.36	0.32	0.29	0.28
		8	0.44	0.36	0.30	0.43	0.35	0.30	0.34	0.30	0.27	0.34	0.29	0.26	0.33	0.29	0.26	0.25
		9	0.41	0.33	0.28	0.40	0.32	0.27	0.32	0.27	0.24	0.31	0.27	0.24	0.30	0.26	0.24	0.23
		10	0.39	0.30	0.25	0.38	0.30	0.25	0.29	0.25	0.22	0.29	0.25	0.22	0.28	0.24	0.22	0.20

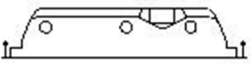

 2x2, дволамповий параболічний світильник, з 3" напів-дзеркальним відбиваючими жалюзіями, 16 кліток		EFF = 50.8%			% DN = 100%			% UP = 0%			Лампа = (2) F31T8/U6 SC (along, across, 45°) = 1.2, 1.5, 1.4							
		0	0.61	0.61	0.61	0.59	0.59	0.59	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.54	0.54	0.54	0.52
		1	0.57	0.55	0.53	0.55	0.54	0.52	0.52	0.50	0.49	0.52	0.50	0.49	0.50	0.49	0.48	0.47
		2	0.53	0.49	0.47	0.51	0.48	0.46	0.47	0.45	0.43	0.47	0.45	0.43	0.45	0.43	0.42	0.42
		3	0.49	0.44	0.41	0.48	0.43	0.40	0.42	0.39	0.37	0.42	0.39	0.37	0.41	0.38	0.37	0.38
		4	0.45	0.40	0.36	0.44	0.39	0.36	0.38	0.35	0.32	0.38	0.35	0.32	0.37	0.34	0.32	0.34
		5	0.42	0.36	0.32	0.41	0.35	0.32	0.34	0.31	0.29	0.34	0.31	0.29	0.33	0.31	0.28	0.30
		6	0.39	0.33	0.29	0.38	0.32	0.28	0.31	0.28	0.25	0.31	0.28	0.25	0.30	0.27	0.25	0.27
		7	0.36	0.30	0.26	0.35	0.29	0.25	0.29	0.25	0.23	0.29	0.25	0.23	0.28	0.25	0.22	0.24
		8	0.33	0.27	0.23	0.33	0.27	0.23	0.26	0.23	0.20	0.26	0.23	0.20	0.26	0.22	0.20	0.22
		9	0.31	0.25	0.21	0.31	0.25	0.21	0.24	0.21	0.18	0.24	0.21	0.18	0.24	0.20	0.18	0.20
		10	0.29	0.23	0.19	0.29	0.23	0.19	0.22	0.19	0.17	0.22	0.19	0.17	0.22	0.19	0.17	0.19


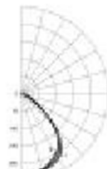
 1x4, дволамповий параболічний світильник, з 3" напів-дзеркальним відбиваючими жалюзіями, 8 чи 9 кліток		EFF = 67.2%			% DN = 100%			% UP = 0%			Лампа = (2) F32T8 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.6, 1.5							
		0	0.80	0.80	0.80	0.78	0.78	0.78	0.75	0.75	0.75	0.72	0.72	0.72	0.69	0.69	0.69	0.67
		1	0.75	0.73	0.70	0.73	0.71	0.69	0.68	0.67	0.65	0.66	0.64	0.63	0.63	0.62	0.61	0.60
		2	0.70	0.65	0.61	0.68	0.64	0.61	0.62	0.59	0.56	0.59	0.57	0.55	0.58	0.56	0.54	0.53
		3	0.64	0.58	0.54	0.63	0.57	0.53	0.55	0.52	0.49	0.54	0.51	0.48	0.52	0.49	0.47	0.46
		4	0.59	0.52	0.47	0.58	0.52	0.47	0.50	0.46	0.43	0.49	0.45	0.42	0.47	0.44	0.42	0.40
		5	0.55	0.47	0.42	0.54	0.47	0.42	0.45	0.41	0.37	0.44	0.40	0.37	0.43	0.39	0.37	0.35
		6	0.51	0.43	0.37	0.50	0.42	0.37	0.41	0.36	0.33	0.40	0.36	0.33	0.39	0.35	0.33	0.31
		7	0.47	0.39	0.34	0.46	0.38	0.33	0.37	0.33	0.29	0.36	0.32	0.29	0.36	0.32	0.29	0.28
		8	0.44	0.36	0.30	0.43	0.35	0.30	0.34	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	0.33	0.29	0.26	0.25
		9	0.41	0.33	0.27	0.40	0.32	0.27	0.31	0.27	0.24	0.31	0.27	0.24	0.30	0.26	0.24	0.22
		10	0.38	0.30	0.25	0.38	0.30	0.25	0.29	0.25	0.22	0.28	0.24	0.21	0.28	0.24	0.21	0.20

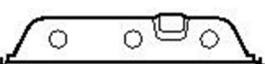
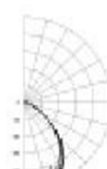
 2x4, трьохламповий параболічний світильник, з 3" напів-дзеркальним відбиваючими жалюзіями, 18 кліток, PR1		EFF = 67.2%			% DN = 100			% UP = 0			Лампа = (3) F32T8 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.5, 1.5							
		0	0.80	0.80	0.80	0.78	0.78	0.78	0.75	0.75	0.75	0.72	0.72	0.72	0.69	0.69	0.69	0.67
		1	0.76	0.74	0.72	0.74	0.72	0.70	0.69	0.68	0.67	0.67	0.66	0.65	0.64	0.64	0.63	0.62
		2	0.71	0.67	0.64	0.70	0.66	0.63	0.64	0.62	0.59	0.62	0.60	0.58	0.60	0.58	0.57	0.56
		3	0.67	0.62	0.58	0.65	0.61	0.57	0.59	0.56	0.53	0.57	0.54	0.52	0.55	0.53	0.51	0.50
		4	0.62	0.56	0.52	0.61	0.56	0.51	0.54	0.50	0.48	0.53	0.50	0.47	0.51	0.49	0.47	0.45
		5	0.58	0.52	0.47	0.57	0.51	0.47	0.50	0.46	0.43	0.49	0.45	0.43	0.47	0.44	0.42	0.41
		6	0.55	0.47	0.43	0.53	0.47	0.42	0.46	0.42	0.39	0.45	0.41	0.39	0.44	0.41	0.38	0.37
		7	0.51	0.44	0.39	0.50	0.43	0.39	0.42	0.38	0.35	0.41	0.38	0.35	0.41	0.37	0.35	0.34
		8	0.48	0.40	0.36	0.47	0.40	0.35	0.39	0.35	0.32	0.38	0.35	0.32	0.38	0.34	0.32	0.31
		9	0.45	0.37	0.33	0.44	0.37	0.32	0.36	0.32	0.29	0.36	0.32	0.29	0.35	0.32	0.29	0.28
		10	0.42	0.35	0.30	0.42	0.34	0.30	0.34	0.30	0.27	0.33	0.29	0.27	0.33	0.29	0.27	0.26

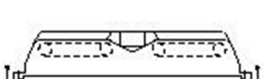

 2x4, трьохламповий параболічний світильник, 1.5x1.5 срібні жалюзі, PR1		EFF = 51.4%			% DN = 100			% UP = 0			Лампа = (3) F32T8 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.3, 1.5							
		0	0.68	0.61	0.55	0.67	0.60	0.55	0.58	0.53	0.50	0.56	0.52	0.49	0.54	0.51	0.48	0.46
		1	0.63	0.55	0.49	0.61	0.54	0.48	0.52	0.47	0.43	0.50	0.46	0.42	0.49	0.45	0.42	0.40
		2	0.58	0.49	0.43	0.57	0.48	0.42	0.47	0.42	0.38	0.45	0.41	0.37	0.44	0.40	0.37	0.35
		3	0.54	0.44	0.38	0.52	0.44	0.38	0.42	0.37	0.33	0.41	0.37	0.33	0.40	0.36	0.33	0.31
		4	0.50	0.40	0.34	0.49	0.40	0.34	0.39	0.34	0.30	0.38	0.33	0.29	0.31	0.33	0.29	0.28
		5	0.47	0.37	0.31	0.46	0.37	0.31	0.36	0.30	0.27	0.35	0.30	0.26	0.34	0.30	0.26	0.25
		6	0.44	0.34	0.28	0.43	0.34	0.28	0.33	0.28	0.24	0.32	0.27	0.24	0.31	0.27	0.24	0.23
		7	0.41	0.32	0.26	0.40	0.31	0.26	0.30	0.25	0.22	0.30	0.25	0.22	0.29	0.25	0.22	0.21
		8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		10	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.72	0.72	0.72	0.69	0.69	0.69	0.66	0.66	0.66	0.65



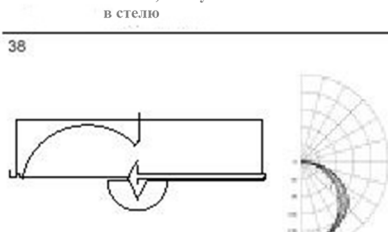


Типовий світильник	Типовий розподіл світла	$\rho_{cc} \rightarrow$	80			70			50			30			10			0	
		$\rho_w \rightarrow$	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0	
		RCR ↓	Лампа = (3) F31T8/U/6 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.5, 1.3																
 2×2 трохлоамповий світильник, з дзеркальним відбивачем, 12кліток, PR1		0	0.77	0.77	0.77	0.75	0.75	0.75	0.72	0.72	0.72	0.69	0.69	0.69	0.66	0.66	0.66	0.65	
		1	0.73	0.71	0.69	0.71	0.69	0.68	0.67	0.65	0.64	0.64	0.63	0.62	0.62	0.61	0.60	0.59	0.59
		2	0.68	0.65	0.62	0.67	0.64	0.61	0.61	0.59	0.57	0.59	0.58	0.56	0.58	0.56	0.55	0.54	0.54
		3	0.64	0.59	0.55	0.63	0.58	0.55	0.56	0.54	0.51	0.55	0.52	0.50	0.53	0.51	0.50	0.48	0.48
		4	0.60	0.54	0.50	0.59	0.53	0.50	0.52	0.49	0.46	0.51	0.48	0.45	0.49	0.47	0.45	0.44	0.44
		5	0.56	0.50	0.45	0.55	0.49	0.45	0.48	0.44	0.41	0.47	0.43	0.41	0.46	0.43	0.41	0.39	0.39
		6	0.53	0.46	0.41	0.51	0.45	0.41	0.44	0.40	0.37	0.43	0.40	0.37	0.42	0.39	0.37	0.36	0.36
		7	0.49	0.42	0.38	0.48	0.42	0.37	0.41	0.37	0.34	0.40	0.36	0.34	0.39	0.36	0.34	0.33	0.33
		8	0.46	0.39	0.34	0.45	0.39	0.34	0.38	0.34	0.31	0.37	0.33	0.31	0.36	0.33	0.31	0.30	0.30
		9	0.43	0.36	0.32	0.43	0.36	0.31	0.35	0.31	0.28	0.34	0.31	0.28	0.34	0.31	0.28	0.27	0.27
		10	0.41	0.33	0.29	0.40	0.33	0.29	0.33	0.29	0.26	0.32	0.28	0.26	0.32	0.28	0.26	0.25	0.25

 2×4 трохлоамповий світильник, з A12 лінзами		Лампа = (3) F32T8 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.3, 1.4																			
		EFF = 75.6%			% DN = 100%			% UP = 0%													
		0	0.90	0.90	0.90	0.88	0.88	0.88	0.84	0.84	0.84	0.80	0.80	0.80	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76		
		1	0.83	0.79	0.76	0.81	0.78	0.75	0.75	0.72	0.70	0.72	0.70	0.68	0.69	0.67	0.66	0.65	0.65		
		2	0.76	0.70	0.65	0.74	0.69	0.64	0.66	0.62	0.59	0.64	0.61	0.58	0.61	0.59	0.57	0.55	0.55		
		3	0.70	0.62	0.57	0.68	0.61	0.56	0.59	0.54	0.51	0.57	0.53	0.50	0.55	0.52	0.49	0.47	0.47		
		4	0.64	0.56	0.49	0.63	0.55	0.49	0.53	0.48	0.44	0.51	0.47	0.43	0.49	0.46	0.43	0.41	0.41		
		5	0.59	0.50	0.44	0.58	0.49	0.43	0.48	0.42	0.38	0.46	0.41	0.38	0.45	0.41	0.37	0.36	0.36		
		6	0.55	0.45	0.39	0.53	0.45	0.38	0.43	0.38	0.34	0.42	0.37	0.33	0.41	0.37	0.33	0.32	0.32		
		7	0.51	0.41	0.35	0.50	0.41	0.35	0.39	0.34	0.30	0.38	0.33	0.30	0.37	0.33	0.30	0.28	0.28		
		8	0.48	0.38	0.31	0.46	0.37	0.31	0.36	0.31	0.27	0.35	0.30	0.27	0.34	0.30	0.27	0.25	0.25		
9	0.44	0.35	0.29	0.43	0.34	0.28	0.33	0.28	0.24	0.33	0.28	0.24	0.32	0.27	0.24	0.23	0.23				
10	0.42	0.32	0.26	0.41	0.32	0.26	0.31	0.26	0.22	0.30	0.25	0.22	0.29	0.25	0.22	0.21	0.21				

 2×4 трохлоамповий світильник, з A19 лінзами		Лампа = (3) F32T8 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.3, 1.3																			
		EFF = 72.4%			% DN = 100%			% UP = 0%													
		0	0.86	0.86	0.86	0.84	0.84	0.84	0.80	0.80	0.80	0.77	0.77	0.77	0.74	0.74	0.74	0.72	0.72		
		1	0.80	0.77	0.75	0.78	0.76	0.73	0.73	0.71	0.69	0.70	0.68	0.67	0.67	0.66	0.65	0.63	0.63		
		2	0.74	0.69	0.65	0.72	0.68	0.64	0.65	0.62	0.59	0.63	0.60	0.58	0.61	0.59	0.57	0.55	0.55		
		3	0.69	0.62	0.57	0.67	0.61	0.56	0.59	0.55	0.52	0.57	0.54	0.51	0.55	0.52	0.50	0.48	0.48		
		4	0.64	0.56	0.50	0.62	0.55	0.50	0.53	0.49	0.45	0.52	0.48	0.45	0.50	0.47	0.44	0.43	0.43		
		5	0.59	0.51	0.45	0.58	0.50	0.45	0.48	0.44	0.40	0.47	0.43	0.40	0.46	0.42	0.39	0.38	0.38		
		6	0.55	0.46	0.40	0.54	0.45	0.40	0.44	0.39	0.36	0.43	0.39	0.35	0.42	0.38	0.35	0.34	0.34		
		7	0.51	0.42	0.36	0.50	0.42	0.36	0.41	0.36	0.32	0.40	0.35	0.32	0.39	0.35	0.32	0.30	0.30		
		8	0.48	0.39	0.33	0.47	0.38	0.33	0.37	0.32	0.29	0.36	0.32	0.29	0.36	0.32	0.29	0.27	0.27		
9	0.45	0.36	0.30	0.44	0.35	0.30	0.35	0.30	0.26	0.34	0.29	0.26	0.33	0.29	0.26	0.25	0.25				
10	0.42	0.33	0.28	0.41	0.33	0.28	0.32	0.27	0.24	0.31	0.27	0.24	0.31	0.27	0.24	0.23	0.23				

 2×4 трохлоамповий світильник, з A12 лінзами		Лампа = (3) FT40 SC (along, across, 45°) = 1.2, 1.3, 1.3																			
		EFF = 68.4%			% DN = 100			% UP = 0													
		0	0.81	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.76	0.76	0.76	0.73	0.73	0.73	0.70	0.70	0.70	0.68	0.68		
		1	0.75	0.72	0.70	0.73	0.71	0.69	0.68	0.66	0.64	0.65	0.64	0.62	0.63	0.62	0.60	0.59	0.59		
		2	0.69	0.64	0.60	0.68	0.63	0.59	0.61	0.58	0.55	0.59	0.56	0.54	0.56	0.54	0.52	0.51	0.51		
		3	0.64	0.57	0.52	0.62	0.56	0.52	0.54	0.50	0.47	0.53	0.49	0.46	0.51	0.48	0.46	0.44	0.44		
		4	0.59	0.52	0.46	0.58	0.51	0.46	0.49	0.45	0.41	0.47	0.44	0.41	0.46	0.43	0.40	0.39	0.39		
		5	0.55	0.47	0.41	0.53	0.46	0.41	0.44	0.40	0.36	0.43	0.39	0.36	0.42	0.38	0.35	0.34	0.34		
		6	0.51	0.42	0.37	0.49	0.42	0.36	0.40	0.36	0.32	0.39	0.35	0.32	0.38	0.35	0.32	0.30	0.30		
		7	0.47	0.39	0.33	0.46	0.38	0.33	0.37	0.32	0.29	0.36	0.32	0.29	0.35	0.31	0.28	0.27	0.27		
		8	0.44	0.35	0.30	0.43	0.35	0.30	0.34	0.29	0.26	0.33	0.29	0.26	0.32	0.29	0.26	0.24	0.24		
9	0.41	0.33	0.27	0.40	0.32	0.27	0.31	0.27	0.24	0.31	0.27	0.23	0.30	0.26	0.23	0.22	0.22				
10	0.39	0.30	0.25	0.38	0.30	0.25	0.29	0.25	0.22	0.29	0.24	0.21	0.28	0.24	0.21	0.20	0.20				

 2×2 дволоамповий світильник, з A12 лінзами		Лампа = (2) F31T8/U/6 SC (along, across, 45°) = 1.2, 1.3, 1.4																			
		EFF = 57.1%			% DN = 100			% UP = 0													
		0	0.68	0.68	0.68	0.66	0.66	0.66	0.63	0.63	0.63	0.61	0.61	0.61	0.58	0.58	0.58	0.57	0.57		
		1	0.64	0.62	0.60	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	0.55	0.56	0.55	0.54	0.54	0.53	0.52	0.51	0.51		
		2	0.59	0.55	0.52	0.58	0.54	0.51	0.52	0.50	0.48	0.51	0.49	0.47	0.49	0.47	0.46	0.45	0.45		
		3	0.55	0.50	0.46	0.53	0.49	0.45	0.47	0.44	0.42	0.46	0.43	0.41	0.44	0.42	0.40	0.39	0.39		
		4	0.51	0.45	0.40	0.49	0.44	0.40	0.43	0.39	0.36	0.41	0.38	0.36	0.40	0.38	0.36	0.34	0.34		
		5	0.47	0.40	0.36	0.46	0.40	0.36	0.39	0.35	0.32	0.38	0.34	0.32	0.37	0.34	0.31	0.30	0.30		
		6	0.43	0.37	0.32	0.42	0.36	0.32	0.35	0.31	0.28	0.34	0.31	0.28	0.33	0.30	0.28	0.27	0.27		
		7	0.40	0.33	0.29	0.39	0.33	0.29	0.32	0.28	0.25	0.31	0.28	0.25	0.31	0.27	0.25	0.24	0.24		
		8	0.38	0.31	0.26	0.37	0.30	0.26	0.29	0.26	0.23	0.29	0.25	0.23	0.28	0.25	0.23	0.22	0.22		
9	0.35	0.28	0.24	0.34	0.28	0.24	0.27	0.23	0.21	0.27	0.23	0.21	0.26	0.23	0.21	0.20	0.20				
10	0.33	0.26	0.22	0.32	0.26	0.22	0.25	0.21	0.19	0.25	0.21	0.19	0.24	0.21	0.19	0.18	0.18				

Типовий світильник	Типовий розподіл світла	ρ _{сс} →	80			70			50			30			10			0
		ρ _ш →	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
		RCR ↓	Лампа = (2) F32T8 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.3, 1.3															
<div>1×4 дволамповий світильник, з A12 лізлами</div> 	0	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.72	0.72	0.72	0.69	0.69	0.69	0.66	0.66	0.66	0.65	
	1	0.71	0.69	0.66	0.70	0.67	0.65	0.64	0.62	0.61	0.62	0.60	0.59	0.59	0.58	0.57	0.56	
	2	0.66	0.61	0.57	0.64	0.59	0.56	0.57	0.54	0.51	0.55	0.52	0.50	0.53	0.51	0.49	0.48	
	3	0.60	0.54	0.49	0.59	0.53	0.48	0.51	0.47	0.44	0.49	0.46	0.43	0.48	0.45	0.42	0.41	
	4	0.55	0.48	0.43	0.54	0.47	0.42	0.46	0.41	0.38	0.44	0.40	0.37	0.43	0.40	0.37	0.36	
	5	0.51	0.43	0.38	0.50	0.43	0.37	0.41	0.37	0.33	0.40	0.36	0.33	0.39	0.35	0.33	0.31	
	6	0.47	0.39	0.34	0.46	0.39	0.33	0.38	0.33	0.29	0.36	0.32	0.29	0.35	0.32	0.29	0.28	
	7	0.44	0.36	0.30	0.43	0.35	0.30	0.34	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	0.33	0.29	0.26	0.25	
	8	0.41	0.33	0.27	0.40	0.32	0.27	0.31	0.27	0.24	0.31	0.27	0.23	0.30	0.26	0.23	0.22	
	9	0.39	0.30	0.25	0.38	0.30	0.25	0.29	0.25	0.21	0.28	0.24	0.21	0.28	0.24	0.21	0.20	
	10	0.36	0.28	0.23	0.35	0.28	0.23	0.27	0.23	0.19	0.26	0.22	0.19	0.26	0.22	0.19	0.18	
	<div>1×4 дволамповий світильник з обтікаємою лізою, монтується в стелю</div> 		EFF = 68.9%	% DN = 91.4%			% UP = 8.6%			Лампа = (2) F32T8 SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.5, 1.5								
0		0.81	0.81	0.81	0.78	0.78	0.78	0.73	0.73	0.73	0.69	0.69	0.69	0.65	0.65	0.65	0.63	
1		0.74	0.71	0.68	0.71	0.68	0.66	0.64	0.62	0.60	0.61	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.53	
2		0.68	0.62	0.58	0.65	0.61	0.56	0.57	0.54	0.51	0.54	0.51	0.49	0.51	0.49	0.47	0.45	
3		0.62	0.55	0.50	0.60	0.54	0.49	0.51	0.47	0.44	0.48	0.45	0.42	0.46	0.43	0.41	0.39	
4		0.57	0.50	0.44	0.55	0.48	0.43	0.46	0.41	0.38	0.44	0.40	0.37	0.41	0.38	0.36	0.34	
5		0.53	0.45	0.39	0.51	0.43	0.38	0.41	0.37	0.33	0.39	0.35	0.32	0.38	0.34	0.31	0.30	
6		0.49	0.40	0.35	0.47	0.39	0.34	0.38	0.33	0.29	0.36	0.32	0.29	0.34	0.31	0.28	0.26	
7		0.46	0.37	0.31	0.44	0.36	0.31	0.34	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	0.31	0.28	0.25	0.24	
8		0.42	0.34	0.28	0.41	0.33	0.28	0.32	0.27	0.23	0.30	0.26	0.23	0.29	0.25	0.23	0.21	
9		0.40	0.31	0.26	0.38	0.30	0.25	0.29	0.24	0.21	0.20	0.24	0.21	0.27	0.23	0.20	0.19	
10		0.37	0.29	0.23	0.36	0.28	0.23	0.27	0.22	0.19	0.26	0.22	0.19	0.25	0.21	0.19	0.17	
<div>2×2 напів-вбудований світильник</div> 		EFF = 54.2%	% DN = 99.2%			% UP = 0.5%			Лампа = (2) FT36* SC (along, across, 45°) = 1.3, 1.5, 1.5									
	0	0.65	0.65	0.65	0.63	0.63	0.63	0.60	0.60	0.60	0.58	0.58	0.58	0.55	0.55	0.55	0.54	
	1	0.58	0.55	0.53	0.57	0.54	0.52	0.52	0.50	0.48	0.49	0.48	0.46	0.47	0.46	0.45	0.44	
	2	0.53	0.48	0.44	0.51	0.47	0.43	0.45	0.41	0.39	0.43	0.40	0.38	0.41	0.39	0.37	0.36	
	3	0.48	0.42	0.37	0.46	0.41	0.36	0.39	0.35	0.32	0.37	0.34	0.31	0.36	0.33	0.31	0.30	
	4	0.43	0.37	0.32	0.42	0.36	0.31	0.34	0.30	0.27	0.33	0.29	0.27	0.32	0.29	0.26	0.25	
	5	0.40	0.33	0.27	0.39	0.32	0.27	0.31	0.26	0.23	0.30	0.26	0.23	0.28	0.25	0.23	0.21	
	6	0.37	0.29	0.24	0.36	0.29	0.24	0.28	0.23	0.20	0.27	0.23	0.20	0.26	0.22	0.20	0.19	
	7	0.34	0.26	0.21	0.33	0.26	0.21	0.25	0.21	0.18	0.24	0.20	0.18	0.23	0.20	0.17	0.16	
	8	0.32	0.24	0.19	0.31	0.24	0.19	0.23	0.19	0.16	0.22	0.18	0.16	0.21	0.18	0.15	0.14	
	9	0.29	0.22	0.17	0.29	0.22	0.17	0.21	0.17	0.14	0.20	0.17	0.14	0.20	0.16	0.14	0.13	
	10	0.28	0.20	0.16	0.27	0.20	0.16	0.19	0.15	0.13	0.19	0.15	0.13	0.18	0.15	0.13	0.12	
<div>9" широкий тонкий профіль, широкий світлорозподіл</div> 		EFF = 84.1%	% DN = 0			% UP = 100			Лампа = (2) F32T8 SC (along, across, 45°) = N/A									
	0	0.80	0.80	0.80	0.68	0.68	0.68	0.47	0.47	0.47	0.27	0.27	0.27	0.09	0.09	0.09	0.00	
	1	0.73	0.69	0.66	0.62	0.59	0.57	0.41	0.39	0.38	0.23	0.23	0.22	0.07	0.07	0.07	0.00	
	2	0.66	0.61	0.56	0.56	0.52	0.48	0.36	0.33	0.31	0.21	0.19	0.18	0.07	0.06	0.06	0.00	
	3	0.60	0.53	0.48	0.51	0.46	0.41	0.31	0.28	0.26	0.18	0.17	0.15	0.06	0.05	0.05	0.00	
	4	0.55	0.47	0.41	0.47	0.40	0.35	0.28	0.25	0.22	0.16	0.14	0.13	0.05	0.05	0.04	0.00	
	5	0.50	0.41	0.35	0.43	0.36	0.30	0.24	0.21	0.19	0.14	0.12	0.11	0.05	0.04	0.04	0.00	
	6	0.46	0.37	0.31	0.39	0.32	0.27	0.22	0.19	0.16	0.13	0.11	0.10	0.04	0.04	0.03	0.00	
	7	0.42	0.33	0.27	0.36	0.28	0.23	0.20	0.16	0.14	0.11	0.10	0.08	0.04	0.03	0.03	0.00	
	8	0.39	0.30	0.24	0.33	0.26	0.21	0.18	0.14	0.12	0.10	0.09	0.07	0.03	0.03	0.02	0.00	
	9	0.36	0.27	0.21	0.31	0.23	0.18	0.16	0.13	0.11	0.09	0.08	0.06	0.03	0.02	0.02	0.00	
	10	0.34	0.24	0.19	0.29	0.21	0.16	0.15	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.03	0.02	0.02	0.00	
<div>V-образний світильник непрямого світла</div> 		EFF = 88.3%	% DN = 0			% UP = 100			Лампа = (2) F32T8 SC (along, across, 45°) = N/A									
	0	0.84	0.84	0.84	0.72	0.72	0.72	0.49	0.49	0.49	0.28	0.28	0.28	0.09	0.09	0.09	0.00	
	1	0.76	0.73	0.70	0.65	0.62	0.60	0.43	0.41	0.40	0.25	0.24	0.23	0.08	0.08	0.07	0.00	
	2	0.70	0.64	0.59	0.59	0.54	0.50	0.37	0.35	0.33	0.22	0.20	0.19	0.07	0.07	0.06	0.00	
	3	0.63	0.56	0.50	0.54	0.48	0.43	0.33	0.30	0.27	0.19	0.17	0.16	0.06	0.06	0.05	0.00	
	4	0.58	0.49	0.43	0.49	0.42	0.37	0.29	0.26	0.23	0.17	0.15	0.14	0.05	0.05	0.05	0.00	
	5	0.53	0.43	0.37	0.45	0.37	0.32	0.26	0.22	0.20	0.15	0.13	0.12	0.05	0.04	0.04	0.00	
	6	0.48	0.39	0.32	0.41	0.33	0.28	0.23	0.19	0.17	0.13	0.11	0.10	0.04	0.04	0.03	0.00	
	7	0.45	0.35	0.28	0.38	0.30	0.24	0.21	0.17	0.15	0.12	0.10	0.09	0.04	0.03	0.03	0.00	
	8	0.41	0.31	0.25	0.35	0.27	0.22	0.19	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08	0.03	0.03	0.03	0.00	
	9	0.38	0.28	0.22	0.32	0.24	0.19	0.17	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.03	0.03	0.02	0.00	
	10	0.35	0.26	0.20	0.30	0.22	0.17	0.15	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06	0.03	0.02	0.02	0.00	

Типовий світильник	Типовий розподіл світла	$\rho_{cc} \rightarrow$	80			70			50			30			10			0			
		$\rho_w \rightarrow$	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0			
		RCR ↓	Лампа = (2) F32T8 SC (along, across, 45°) = N/A																		
	Світильник непрямого світла з перфорованою металевою кришкою знизу	0	0.80	0.80	0.80	0.69	0.69	0.69	0.48	0.48	0.48	0.30	0.30	0.30	0.12	0.12	0.12	0.04			
		1	0.72	0.69	0.66	0.62	0.59	0.57	0.42	0.40	0.39	0.27	0.25	0.24	0.11	0.10	0.10	0.04			
		2	0.66	0.60	0.55	0.56	0.52	0.48	0.37	0.34	0.32	0.22	0.21	0.20	0.09	0.09	0.09	0.03			
		3	0.60	0.53	0.47	0.51	0.45	0.41	0.32	0.29	0.27	0.20	0.18	0.17	0.08	0.08	0.07	0.02			
		4	0.55	0.46	0.40	0.47	0.40	0.35	0.28	0.25	0.23	0.17	0.16	0.14	0.07	0.07	0.06	0.02			
		5	0.50	0.41	0.35	0.43	0.36	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.07	0.06	0.05	0.02			
		6	0.46	0.37	0.30	0.39	0.32	0.27	0.23	0.19	0.17	0.14	0.12	0.11	0.06	0.05	0.05	0.02			
		7	0.42	0.33	0.27	0.36	0.28	0.23	0.20	0.17	0.14	0.13	0.11	0.09	0.05	0.05	0.04	0.01			
		8	0.39	0.29	0.24	0.33	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08	0.05	0.04	0.04	0.01			
		9	0.36	0.27	0.21	0.31	0.23	0.18	0.17	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.04	0.04	0.03	0.01			
		10	0.33	0.24	0.19	0.29	0.21	0.16	0.15	0.12	0.10	0.05	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03	0.01			
	Дволамповий V-образний світильник напів-непрямого світла, параболічний відбивач	Лампа = (2) F32T8 SC (along, across, 45°) = N/A																			
		EFF = 83.2%			% DN = 21.6%			% UP = 78.4%													
		0	0.83	0.83	0.83	0.74	0.74	0.74	0.56	0.56	0.56	0.39	0.39	0.39	0.24	0.24	0.24	0.17			
		1	0.76	0.73	0.70	0.67	0.65	0.62	0.49	0.48	0.46	0.35	0.34	0.33	0.22	0.21	0.21	0.15			
		2	0.70	0.64	0.59	0.62	0.57	0.53	0.44	0.41	0.39	0.31	0.30	0.28	0.20	0.19	0.18	0.13			
		3	0.64	0.57	0.51	0.56	0.50	0.46	0.39	0.36	0.33	0.28	0.26	0.24	0.18	0.17	0.16	0.12			
		4	0.58	0.50	0.44	0.52	0.45	0.40	0.35	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21	0.16	0.15	0.14	0.10			
		5	0.54	0.45	0.39	0.47	0.40	0.35	0.31	0.27	0.25	0.23	0.20	0.18	0.15	0.13	0.12	0.09			
		6	0.49	0.40	0.34	0.44	0.36	0.31	0.28	0.24	0.21	0.20	0.18	0.16	0.13	0.12	0.11	0.08			
		7	0.46	0.36	0.30	0.40	0.32	0.27	0.25	0.22	0.19	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.07			
		8	0.42	0.33	0.27	0.37	0.29	0.24	0.23	0.19	0.17	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.07			
9	0.39	0.30	0.24	0.35	0.27	0.22	0.21	0.17	0.15	0.16	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06					
10	0.37	0.27	0.22	0.32	0.24	0.20	0.19	0.16	0.13	0.14	0.12	0.10	0.10	0.08	0.07	0.06					
	Світильник напів-непрямого світла, тонкий профіль, параболічний відбивач, 70% світла направлено догори	Лампа = (2) F32T8 SC (along, across, 45°) = N/A																			
		EFF = 85.2%			% DN = 28.7%			% UP = 71.3%													
		0	3.87	0.87	0.87	0.78	0.78	0.78	0.61	0.61	0.61	0.45	0.45	0.45	0.31	0.31	0.31	0.24			
		1	3.80	0.77	0.74	0.72	0.69	0.66	0.54	0.53	0.51	0.41	0.40	0.39	0.29	0.28	0.28	0.22			
		2	0.73	0.68	0.63	0.66	0.61	0.57	0.48	0.46	0.44	0.37	0.35	0.34	0.26	0.25	0.24	0.20			
		3	0.67	0.60	0.55	0.60	0.54	0.50	0.43	0.40	0.37	0.33	0.31	0.29	0.24	0.23	0.22	0.18			
		4	0.62	0.54	0.48	0.55	0.49	0.43	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	0.26	0.22	0.20	0.19	0.16			
		5	0.57	0.48	0.42	0.51	0.44	0.38	0.35	0.31	0.28	0.27	0.25	0.23	0.23	0.18	0.17	0.14			
		6	0.53	0.43	0.37	0.47	0.39	0.34	0.32	0.28	0.25	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15	0.13			
		7	0.49	0.39	0.33	0.44	0.36	0.30	0.29	0.25	0.22	0.23	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14	0.11			
		8	0.45	0.35	0.29	0.41	0.32	0.27	0.26	0.22	0.20	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.12	0.10			
9	0.42	0.32	0.26	0.38	0.30	0.24	0.24	0.20	0.18	0.19	0.16	0.14	0.14	0.13	0.11	0.09					
10	0.39	0.30	0.24	0.35	0.27	0.22	0.22	0.18	0.16	0.18	0.15	0.13	0.13	0.12	0.10	0.09					
	Світильник комбінованого світла, дволамповий, тонкий профіль, параболічний відбивач	Лампа = (2) F32T8 SC (along, across, 45°) = N/A																			
		EFF = 88.3%			% DN = 40.3			% UP = 59.7													
		0	0.93	0.93	0.93	0.84	0.84	0.84	0.69	0.69	0.69	0.55	0.55	0.55	0.42	0.42	0.42	0.36			
		1	0.85	0.82	0.79	0.77	0.75	0.72	0.61	0.60	0.58	0.49	0.48	0.47	0.38	0.37	0.37	0.31			
		2	0.78	0.72	0.67	0.71	0.66	0.62	0.54	0.51	0.49	0.44	0.42	0.40	0.34	0.33	0.32	0.27			
		3	0.71	0.64	0.58	0.65	0.58	0.53	0.48	0.45	0.42	0.39	0.37	0.34	0.31	0.29	0.28	0.24			
		4	0.65	0.57	0.50	0.60	0.52	0.46	0.43	0.39	0.36	0.35	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.21			
		5	0.60	0.50	0.44	0.55	0.46	0.40	0.39	0.34	0.31	0.32	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.18			
		6	0.55	0.45	0.38	0.50	0.42	0.36	0.35	0.30	0.27	0.28	0.25	0.23	0.23	0.20	0.19	0.16			
		7	0.51	0.41	0.34	0.47	0.38	0.32	0.32	0.27	0.24	0.26	0.23	0.20	0.21	0.18	0.16	0.14			
		8	0.47	0.37	0.30	0.43	0.34	0.28	0.29	0.24	0.21	0.24	0.20	0.18	0.19	0.16	0.15	0.13			
9	0.44	0.34	0.27	0.40	0.31	0.25	0.26	0.22	0.19	0.22	0.18	0.16	0.17	0.15	0.13	0.11					
10	0.41	0.31	0.25	0.37	0.28	0.23	0.24	0.20	0.17	0.20	0.17	0.14	0.16	0.14	0.12	0.10					

Типовий світильник	Типовий розподіл світла	$\rho_{cc} \rightarrow$	80			70			50			30			10			0
		$\rho_w \rightarrow$	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
		RCR ↓	Лампа= (2) F32T8 EFF = 53.4% % DN = 81.7% % UP = 18.3% SC (along, across, 45°) = 1.2, 1.2, 1.3															
45		0	0.61	0.61	0.61	0.59	0.59	0.59	0.54	0.54	0.54	0.50	0.50	0.50	0.46	0.46	0.46	0.44
		1	0.57	0.55	0.53	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.47	0.45	0.44	0.44	0.42	0.41	0.41	0.39
		2	0.53	0.49	0.46	0.51	0.48	0.45	0.44	0.42	0.40	0.41	0.39	0.38	0.38	0.37	0.36	0.34
		3	0.49	0.44	0.41	0.47	0.43	0.39	0.40	0.37	0.35	0.37	0.35	0.33	0.35	0.33	0.32	0.30
		4	0.45	0.40	0.36	0.43	0.38	0.35	0.36	0.33	0.31	0.34	0.31	0.29	0.32	0.30	0.28	0.27
		5	0.42	0.36	0.32	0.40	0.35	0.31	0.33	0.30	0.27	0.31	0.28	0.26	0.29	0.27	0.25	0.24
		6	0.39	0.33	0.29	0.37	0.32	0.28	0.30	0.27	0.24	0.28	0.25	0.23	0.26	0.24	0.22	0.21
		7	0.36	0.30	0.26	0.35	0.29	0.25	0.27	0.24	0.22	0.26	0.23	0.21	0.24	0.22	0.20	0.19
		8	0.34	0.27	0.23	0.32	0.27	0.23	0.25	0.22	0.19	0.24	0.21	0.19	0.22	0.20	0.18	0.17
		9	0.32	0.25	0.21	0.30	0.24	0.21	0.23	0.20	0.18	0.22	0.19	0.17	0.21	0.18	0.17	0.16
10	0.30	0.23	0.19	0.29	0.23	0.19	0.21	0.18	0.16	0.20	0.18	0.16	0.19	0.17	0.15	0.14		
46		Лампа= M400/U (coated)* EFF = 73% % DN = 90% % UP = 100% SC (along, across, 45°) = N/A																
		0	0.69	0.69	0.69	0.59	0.59	0.59	0.41	0.54	0.41	0.23	0.23	0.23	0.07	0.07	0.07	0.00
		1	0.63	0.60	0.58	0.54	0.52	0.43	0.35	0.34	0.33	0.20	0.20	0.19	0.06	0.06	0.06	0.00
		2	0.57	0.53	0.48	0.49	0.45	0.42	0.31	0.29	0.27	0.18	0.17	0.16	0.06	0.05	0.05	0.00
		3	0.52	0.46	0.41	0.45	0.39	0.36	0.27	0.25	0.23	0.16	0.14	0.13	0.05	0.05	0.01	0.00
		4	0.48	0.41	0.35	0.41	0.35	0.31	0.24	0.21	0.19	0.14	0.12	0.11	0.04	0.04	0.04	0.00
		5	0.44	0.36	0.31	0.37	0.31	0.26	0.21	0.18	0.16	0.12	0.11	0.10	0.04	0.04	0.03	0.00
		6	0.40	0.32	0.27	0.34	0.27	0.23	0.19	0.16	0.14	0.11	0.09	0.08	0.04	0.03	0.03	0.00
		7	0.37	0.29	0.23	0.31	0.25	0.20	0.17	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.03	0.03	0.02	0.00
		8	0.34	0.26	0.21	0.29	0.22	0.18	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.03	0.02	0.02	0.00
9	0.31	0.23	0.18	0.27	0.20	0.16	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.00		
10	0.29	0.21	0.16	0.25	0.18	0.14	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.02	0.02	0.02	0.00		
47		Лампа= (1) F32T8 EFF = 71.6% % DN = 0.3% % UP = 99.7% SC (along, across, 45°) = N/A																
		0	0.42	0.35	0.30	0.40	0.34	0.30	0.32	0.28	0.26	0.30	0.27	0.25	0.29	0.26	0.24	0.23
		1	0.40	0.32	0.28	0.38	0.31	0.27	0.30	0.26	0.24	0.28	0.25	0.23	0.27	0.24	0.22	0.21
		2	0.37	0.30	0.26	0.36	0.29	0.25	0.28	0.24	0.22	0.26	0.23	0.21	0.25	0.22	0.20	0.19
		3	0.35	0.28	0.24	0.34	0.27	0.23	0.26	0.22	0.20	0.25	0.22	0.19	0.23	0.21	0.19	0.18
		4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		6	0.67	0.67	0.67	0.64	0.64	0.64	0.58	0.58	0.58	0.53	0.53	0.53	0.48	0.48	0.48	0.46
		7	0.62	0.59	0.57	0.59	0.57	0.55	0.52	0.50	0.49	0.48	0.46	0.45	0.43	0.43	0.42	0.40
		8	0.57	0.53	0.50	0.55	0.51	0.48	0.47	0.45	0.43	0.43	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.35
9	0.53	0.48	0.44	0.51	0.46	0.43	0.43	0.40	0.37	0.40	0.37	0.35	0.36	0.35	0.33	0.31		
10	0.50	0.44	0.39	0.47	0.42	0.38	0.39	0.36	0.33	0.36	0.34	0.32	0.34	0.32	0.30	0.28		

5.7 Розрахунок середньої світності. Метод Люмена

Обчислення світності значно спрощується через використання коефіцієнтів світності (Exitance Coefficients – EC). Ці коефіцієнти подібно до коефіцієнтів використання можуть бути обчислені для будь-якого світильника, хоча вони є дещо рідкісними в документації виробників.

Коефіцієнти світності є подібними до коефіцієнтів використання, виключаючи те, що вони застосовуються до поверхонь кімнатного приміщення. Вони можуть бути заміщені варіацією формули метода Люмена в місці коефіцієнта використання.

Одержаний результат є або середньою світністю стіни, або середньою світністю стелі приміщення більшою мірою, ніж освітленість на робочій площині. Отже,

$$\text{середня початкова світність стіни} = \frac{\text{повний світовий потік тільки ламп} \times \text{коефіцієнт світності стелі}}{\text{площа підлоги}} \quad (56)$$

i

$$\begin{aligned} \text{середня початкова світність поверхні стелі} = \\ = \text{повний світовий потік тільки ламп} \times \frac{\text{коефіцієнт світності поверхні стелі}}{\text{площа підлоги}} \end{aligned} \quad (57)$$

Таблиця 5.5 – Помножуючі коефіцієнти для ефективних коефіцієнтів відбиття підлоги приміщення інші (більші/менші, ніж 20 % (0,2))

Коефіцієнт приміщення	Ефективний коефіцієнт відбиття стелі приміщення																			
	80				70				50				30				10			
	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10		
	Для 30 % Ефективного коефіцієнта відбиття підлоги приміщення																			
1	1,092 1,082 1,075 1,068				1,077 1,070 1,064				1,059 1,049 1,044 1,040				1,028 1,026 1,023				1,012 1,010 1,008			
2	1,079 1,066 1,055 1,047				1,068 1,057 1,048				1,039 1,041 1,033 1,027				1,026 1,021 1,017				1,013 1,010 1,006			
3	1,070 1,054 1,042 1,033				1,061 1,048 1,037				1,028 1,034 1,027 1,020				1,024 1,017 1,012				1,014 1,009 1,005			
4	1,062 1,045 1,033 1,024				1,055 1,040 1,029				1,021 1,030 1,022 1,015				1,022 1,015 1,010				1,014 1,009 1,004			
5	1,056 1,038 1,026 1,018				1,050 1,034 1,024				1,015 1,027 1,018 1,012				1,020 1,013 1,008				1,014 1,009 1,004			
6	1,052 1,033 1,021 1,014				1,048 1,030 1,020				1,012 1,024 1,015 1,009				1,019 1,012 1,006				1,014 1,008 1,003			
7	1,047 1,029 1,018 1,011				1,043 1,026 1,017				1,009 1,022 1,013 1,007				1,018 1,010 1,005				1,014 1,008 1,003			
8	1,044 1,026 1,015 1,009				1,040 1,024 1,015				1,007 1,020 1,012 1,006				1,017 1,009 1,004				1,013 1,007 1,003			
9	1,040 1,024 1,014 1,007				1,037 1,022 1,014				1,006 1,019 1,011 1,005				1,016 1,009 1,004				1,013 1,007 1,002			
10	1,037 1,022 1,012 1,006				1,034 1,020 1,012				1,005 1,017 1,010 1,004				1,015 1,009 1,003				1,013 1,007 1,002			
Коефіцієнт приміщення	Для 10 % Ефективного коефіцієнта відбиття підлоги приміщення																			
1	0,923 0,929 0,935 0,940				0,933 0,939 0,943				0,948 0,956 0,960 0,963				0,973 0,976 0,979				0,989 0,991 0,993			
2	0,931 0,942 0,950 0,958				0,940 0,949 0,957				0,963 0,962 0,968 0,974				0,976 0,980 0,985				0,988 0,991 0,995			
3	0,939 0,951 0,961 0,969				0,945 0,957 0,966				0,973 0,967 0,975 0,981				0,978 0,963 0,988				0,988 0,992 0,996			
4	0,944 0,958 0,969 0,978				0,950 0,963 0,973				0,980 0,972 0,980 0,986				0,980 0,986 0,991				0,987 0,992 0,996			
5	0,949 0,964 0,976 0,986				0,954 0,968 0,978				0,985 0,975 0,983 0,989				0,981 0,988 0,993				0,987 0,992 0,997			
6	0,953 0,969 0,980 0,986				0,958 0,972 0,982				0,989 0,977 0,985 0,992				0,982 0,989 0,995				0,987 0,993 0,997			
7	0,957 0,976 0,983 0,991				0,961 0,975 0,9858				0,991 0,979 0,987 0,994				0,983 0,990 0,996				0,987 0,993 0,998			
8	0,960 0,976 0,986 0,993				0,963 0,977 0,987				0,993 0,981 0,988 0,995				0,984 0,991 0,997				0,987 0,994 0,998			
9	0,63 0,978 0,987 0,994				0,965 0,979 0,989				0,994 0,983 0,990 0,996				0,985 0,992 0,998				0,988 0,994 0,999			
10	0,965 0,980 0,989 0,995				0,967 0,981 0,990				0,995 0,984 0,991 0,997				0,986 0,993 0,998				0,988 0,994 0,999			
Коефіцієнт приміщення	Для 0 % Ефективного коефіцієнта відбиття підлоги приміщення																			
1	0,859 0,870 0,879 0,886				0,873 0,884 0,893				0,9014 0,916 0,923 0,929				0,948 0,954 0,960				0,979 0,983 0,987			
2	0,871 0,870 0,903 0,919				0,886 0,902 0,916				0,928 0,926 0,938 0,949				0,954 0,963 0,971				0,978 0,983 0,991			
3	0,882 0,904 0,915 0,942				0,898 0,918 0,934				0,947 0,936 0,950 0,964				0,958 0,969 0,979				0,976 0,984 0,993			
4	0,893 0,919 0,941 0,958				0,908 0,930 0,948				0,961 0,945 0,961 0,974				0,961 0,974 0,984				0,975 0,985 0,994			
5	0,903 0,931 0,953 0,969				0,914 0,939 0,958				0,970 0,951 0,967 0,980				0,964 0,977 0,988				0,975 0,985 0,995			
6	0,911 0,940 0,961 0,976				0,920 0,945 0,965				0,977 0,955 0,972 0,85				0,966 0,979 0,971				0,975 0,986 0,996			
7	0,917 0,947 0,967 0,981				0,924 0,950 0,970				0,82 0,959 0,975 0,988				0,968 0,981 0,993				0,975 0,987 0,997			
8	0,922 0,953 0,971 0,985				0,929 0,955 0,975				0,986 0,963 0,978 0,991				0,970 0,983 0,995				0,976 0,988 0,998			
9	0,928 0,958 0,975 0,988				0,933 0,959 0,980				0,989 0,966 0,980 0,993				0,971 0,985 0,996				0,976 0,988 0,998			
10	0,933 0,962 0,979 0,991				0,937 0,963 0,983				0,992 0,969 0,982 0,995				0,973 0,987 0,997				0,977 0,989 0,999			

Якщо необхідна експлуатаційна середня світність стіни або експлуатаційна середня світність поверхні стелі, коефіцієнт світлових втрат (стабільності) уводиться в рівняння в той же самий спосіб, як для експлуатаційної середньої освітленості. Для підвісних світильників одержана середня світність поверхні стелі є середньою світністю уявної площини на рівні світильників. Ця світність не включає зважену середню світність, як видно із нижченаведеного. Це скоріше середня світність підлоги, проти якої видні світильники. У випадку вбудованих у стелю світильників це є середня світність стелі між світильниками.

Обмеження для розрахунку світності є подібним, як і для середньої освітленості. На додаток, коефіцієнту відбиття стіни, які використовуються для введення до таблиць, є зважені середні коефіцієнти відбиття для різних частин стін (таблиця 5.5). Світність стіни знаходиться із коефіцієнта світності стіни, який є величиною, що могла бути, якби стіни були однорідними і використовували абсолютний дифузний коефіцієнт відбиття, що дорівнює середньому коефіцієнту відбиття. Отже, багато частин стіни можуть мати значення світності, які відрізняються від розрахованого середнього значення. Для визначення наближеної світності будь-якої частини стіни може бути застосовано коригування. Для будь-якої поверхні на стіні світність визначається за формулою:

$$\text{світність} = \frac{\left(\frac{\text{середня світність}}{\text{стіни}} \right) \times \frac{\text{коефіцієнт відбиття}}{\text{поверхні}}}{\text{середній коефіцієнт відбиття стіни}} \quad (58)$$

5.8 Метод Люмена, застосований до розділених просторів

Метод Люмена може бути застосований до розділених просторів, розбиваючи кімнатне приміщення на два простори: вищий, який простирається від верху частин до площини світильника і другий простір, який є простором у середині розділеної поверхні. Верхня порожнина має поверхню, що дорівнює поверхні кімнати, й нижня порожнина охоплює тільки поверхню, включену в середину єдиної відокремленої зони. Для того щоб провести складний аналіз, необхідно виконати два розрахунки методом Люмена (див. приклад 1 у «прикладях світлотехнічних розрахунках»).

Спочатку розрахунок проводиться для верхньої порожнини для визначення освітленості на верхній частині розділень. Порожниною підлоги для цього аналізу є поверхня нижче верху розділень, а ефективний коефіцієнт відбиття порожнини підлоги є таким, як єдиний розділений простір, що спостерігається зверху. У цьому аналізі використовуються всі кімнатні

світильники, оскільки їхній внесок до освітленості на площині верха розподілень є безумовним. CU визначається для відповідного коефіцієнту приміщення, а за ним визначається середня освітленість верху розділень.

Далі розглядається коефіцієнт використання для нижньої порожнини, поверхні в середині єдиного розділення. Коефіцієнт використання визначається для віртуального світильника, який має ламбертівський розподіл, використовуючи таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Коефіцієнти використання для абсолютно дифузного випромінювача

Коефіцієнт відбивання стелі (%)	Коефіцієнт відбивання підлоги (ρ_{NN} , %)				
	70	50	30	10	0
0	1,00	1,00	1,00	1,00	0,84
1	0,90	0,88	0,86	0,84	0,70
2	0,81	0,77	0,74	0,71	0,59
3	0,74	0,69	0,64	0,61	0,50
4	0,67	0,61	0,56	0,52	0,42
5	0,61	0,54	0,49	0,44	0,36
6	0,56	0,44	0,43	0,38	0,31
7	0,52	0,44	0,38	0,33	0,27
8	0,48	0,39	0,33	0,29	0,23
9	0,44	0,35	0,29	0,25	20
10	0,41	0,32	0,26	0,22	0,84

Для отримання цього значення використовуються відповідні ефективні коефіцієнти відбиття порожнини стіни і підлоги. Ефективний коефіцієнт відбиття порожнини стелі вважається в цій таблиці рівним нулю, оскільки перевідбиття між верхом і низом кімнати завжди розглядалося у визначенні освітленості на верху розділень. У простірах з багатьма розділеннями кожний кубічний сегмент має тільки три сторони, що формуються перегородками, з четвертої сторони сегмент залишається відкритим. Для коефіцієнта відбиття стіни має бути використаний просторово зважений середньозважений коефіцієнт відбиття стін, для отвору коефіцієнт відбиття призначають рівним нулю. Освітленість, одержана з верху розділень, помножується на коефіцієнт використання, отриманий для кубічної поверхні, щоб одержати усереднену освітленість на робочій площині.

Відповідне рівняння тоді:

$$E = \frac{\left(\frac{\text{повний світловий потік ламп}}{\text{поверхня робочої площини}} \right) \cdot CU_{\text{верху порожнини}} \cdot CU_{\text{кубічного}} \cdot LLF}{\text{поверхня робочої площини}} \quad (59)$$

Ця процедура, вірогідно, має бути точнішою для непрямих освітлювальних систем, ніж для прямих, оскільки процедура припускає, що потік входить до розділення частини від верху в абсолютно дифузний спосіб. Світильники, що світять переважно вниз, вірогідно, досягають дещо вищих значень освітленості, ніж визначається цією процедурою.

6 РОЗРАХУНОК ВЕЛИЧИН, ПОВ'ЯЗАНИХ З УСТАТКУВАННЯМ

До цього розглядалися величини, які характеризують освітлення всередині кімнати. Інший ряд величин характеризує світильник. Вони включають коефіцієнти використання, оптичної ефективності і просторовий критерій.

6.1 Метод Люмена коефіцієнтів використання

CU таблиці, коефіцієнти світності стін, коефіцієнти світності порожнини стелі можуть бути підготовлені [82-84]. Бажано мати стандартні таблиці для цих значень для попередження непорозумінь і сприяння прямих порівнянь даних різних світильників. Ці коефіцієнти виводять із рівнянь, що описані в розділі «Основні принципи». Є п'ять основних припущень, які використовуються для отримання коефіцієнтів зональної порожнини:

- Кімнатні поверхні є ламбертівськими відбивачами.
- Падаючий потік на кожен поверхню однорідно розподіляється по поверхні.
- Світильники однорідно розподілені по кімнаті.
- Кімната є пустою.
- Кімнаті поверхні є спектрально нейтральними.

На рисунку 5.5 подано рекомендовану форму нескорочених CU таблиць. Визначається, що просторові обмеження часто роблять необхідним скорочення. В таких випадках тільки стовпці для $\rho_{NN} = 80, 50$ і 10% рекомендуються для світильників, які мають від 0 до 35 % їхнього світлового виходу в 90 до 180° зоні і 80, 70 і 50 % для світильників, які мають більше 35 % їхнього світлового виходу в такій зоні. Таким чином, стовпці $\rho_{CC} = 10 \%$ не потребуються для скорочених таблиць. Рекомендується, що CU повинні публікуватися для двох децимальних місць, коефіцієнти світності стін до трьох децимальних місць, коефіцієнт світності порожнини стелі до трьох децимальних місць. Коефіцієнт прямого випромінення стіни (Wall Direct Radiation Coefficient – WDRC) необхідно публікувати до трьох децимальних місць для кожного індексу приміщення, сусідній до коефіцієнта світності стіни таблиці. Три багатозначних рисунка не підтверджуються в термінах

коефіцієнта точності, проте необхідні, тому що певні комп'ютерні методи потребують відмінності між цими коефіцієнтами.

Розрахунок

1. Визначаємо 18 конічних кутових зон шириною в 10° від надіра до зеніта навколо світильника, як подано на рисунку 6.1, де індекс кожної зони N є ціле число від 1 до 18 включно.



Рисунка 6.1 – Конічні тілесні кутові зони шириною в 10° для використання обчислювання зональних потоків

2. Визначаємо потік Φ_N (люмени) в різних зонах:

а) Потік у кінцевому тілесному куті (рис. 6.2) дається

$$\Phi_N = 2\pi I_{0N} (\cos(\Theta_N) - \cos(\Theta_{N+1})), \quad (60)$$

де: I_{0N} – сила світла, у кд, у N_{ii} зоні;

Θ_N, Θ_{N+1} – кути, що обмежують конус.

б) Якщо сила світла не є обертально симетричною навколо вертикальних вісей, знаходять середню силу світла навколо вертикальних вісей при кожному вертикальному куті Θ . Зазначимо, що сила світла має бути вибрана за рівних кутових інтервалів навколо вертикальної вісі. Наприклад, якщо сила світла відома для трьох вертикальних площин [$I_{\Theta, 90^\circ}$ (перпендикулярна), $I_{\Theta, 45^\circ}$ і $I_{\Theta, 0^\circ}$ (паралельна)], тоді

$$I_\Theta = \frac{1}{4} (I_{\Theta, 0^\circ} + 2I_{\Theta, 45^\circ} + I_{\Theta, 90^\circ}) \quad (61)$$

Хоча три площини достатньо для світильників із номінальною обертовою симетрією, додавання фотометричних даних за 15° або $22,5^\circ$ навколо вертикальних вісей краще для світильників без такої симетрії.

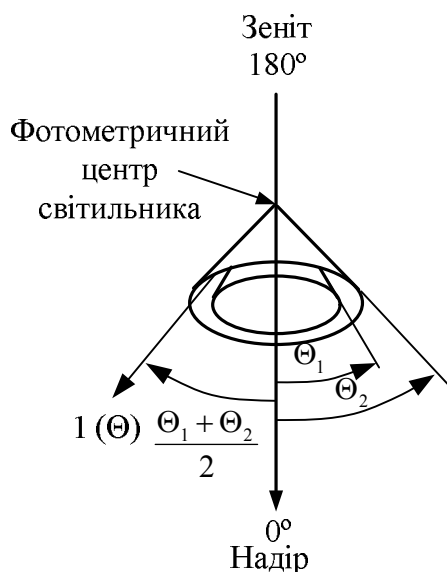


Рисунок 6.2 – Кути, які використовуються для обчислювання зонального потоку

в) Якщо сила світла береться за 10° вертикальних інтервалів ($\Theta = 5^\circ; 15^\circ; 25^\circ$), тоді потік Φ_N визначається застосуванням рівняння в частині (а), вище, до повної зони. Перевагу надають силі світла за значень 5° вертикальних кутів ($\Theta = 2,5^\circ; 7,5^\circ; 12,5^\circ$). Тоді зона N поділяється на дві частини, рівняння застосовується до кожної із частин, і результуючий потік підсумовується.

3. Визначення додатніх поточкових функцій:

$$\Phi_{\text{luminaire}} = \sum_{N=1}^{18} \Phi_N, \quad (62)$$

$$\eta_{\text{down}} = \frac{1}{\Phi_{\text{lamps}}} \sum_{N=1}^9 \Phi_N, \quad (63)$$

$$\eta_{\text{up}} = \frac{1}{\Phi_{\text{lamps}}} \sum_{N=10}^{18} \Phi_N, \quad (64)$$

де Φ_{lamps} – повний потік від ламп;

$\Phi_{\text{luminaire}}$ – повний потік світильників;

η_{down} – частина лампового потоку світильника в нижньому напрямку;

η_{up} – частина лампового потоку світильника в верхньому напрямку.

4. Визначимо пряме відношення D_{RCR} , яке належить до частини потоку світильників, нижче горизонталі, який прямо падає на робочу площину:

$$D_{RCR} = \frac{1}{\eta_{\text{down}} \Phi_{\text{lamps}}} = \sum_{N=1}^9 K_{RCR,N} \Phi_N \quad (65)$$

де RCR – коефіцієнт кімнатного приміщення, що використовується як ціле число між 1 і 10 включно;

$K_{RCR,N}$ – зональні множники.

Зональний множник є частина спрямованого вниз потоку прямо падаючого на робочу поверхню (нижня поверхня кімнатного приміщення) для кожної зони N . Зональні множники є функціями RCR:

$$K_{RCR,N} = e^{-A \cdot RCR^B}, \quad (66)$$

де A і B є константами і представлені на таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Константа для рівняння зональних множників

Зона (N)	A	B
1	0	0
2	0,041	0,98
3	0,070	1,05
4	0,100	1,12
5	0,136	1,16
6	0,190	1,25
7	0,315	1,25
8	0,640	1,25
9	2,10	0,80

5. Визначаємо параметри C_1 , C_2 , C_3 і C_0 як проміжний крок.

У формулах, наведених нижче, ρ_w – коефіцієнт відбиття стіни; ρ_{cc} – коефіцієнт відбиття стелі і ρ_{kc} – коефіцієнт відбиття підлоги, який береться як 0,2 для стандартних табличних коефіцієнтів. $F_{cc \rightarrow fc}$ є форм-фактор від поверхні стелі до поверхні підлоги, описаної вище в розділі «Основні принципи»:

$$C_1 = \frac{(1 - \rho_w)(1 - f_{cc \rightarrow fc}^2)RCR}{2,5\rho_w(1 - f_{cc \rightarrow fc}^2) + RCRf_{cc \rightarrow fc}(1 - \rho_w)}, \quad (67)$$

$$C_2 = \frac{(1 - \rho_{cc})(1 + f_{cc \rightarrow fc})}{1 + \rho_{cc} f_{cc \rightarrow fc}}, \quad (68)$$

$$C_3 = \frac{(1 - \rho_{fc})(1 + f_{cc \rightarrow fc})}{1 + \rho_{fc} f_{cc \rightarrow fc}}, \quad (69)$$

$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3. \quad (70)$$

6. Визначимо коефіцієнт використання (CU), коефіцієнт світності стіни (Wall Exitance Coefficient – WEC) і коефіцієнт світності поверхні стелі для кожної застосованої комбінації коефіцієнтів відбиття RCR:

$$\begin{aligned} \text{CU} = & \frac{2,5\rho_W C_1 C_3 (1 - D_{\text{RCR}}) \eta_{\text{down}}}{\text{RCR}(1 - \rho_W)(1 - \rho_{\text{FC}})C_0} + \frac{\rho_{\text{CC}} C_2 C_3 \eta_{\text{up}}}{(1 - \rho_{\text{CC}})(1 - \rho_{\text{FC}})C_0} \times \\ & \times \left(1 - \frac{\rho_{\text{FC}} C_3 (C_1 + C_2)}{(1 - \rho_{\text{FC}})C_0} \right) \frac{D_{\text{RCR}} \eta_{\text{down}}}{1 - \rho_{\text{FC}}}. \end{aligned} \quad (71)$$

$$\text{WEC} = \frac{2,5\rho_W (1 - D_{\text{RCR}}) \eta_{\text{down}}}{\text{RCR}(1 - \rho_W)} \left[1 - \frac{2,5\rho_W C_1 (C_2 + C_3)}{\text{RCR}(1 - \rho_W)C_0} \right] + \quad (72)$$

$$\begin{aligned} & + \frac{2,5\rho_W \rho_{\text{CC}} C_1 C_2 \eta_{\text{up}}}{\text{RCR}(1 - \rho_W)(1 - \rho_{\text{CC}})C_0} + \frac{2,5\rho_W \rho_{\text{FC}} C_1 C_3 D_{\text{RCR}} \eta_{\text{down}}}{\text{RCR}(1 - \rho_W)(1 - \rho_{\text{FC}})C_0}, \\ \text{CCEC} = & \frac{2,5\rho_W \rho_{\text{CC}} C_1 C_2 (1 - D_{\text{RCR}}) \eta_{\text{down}}}{\text{RCR}(1 - \rho_W)(1 - \rho_{\text{CC}})C_0} + \quad (73) \end{aligned}$$

$$+ \frac{\rho_{\text{CC}} \eta_{\text{up}}}{1 - \rho_{\text{CC}}} \left(1 - \frac{\rho_{\text{CC}} C_2 (C_1 + C_3)}{(1 - \rho_{\text{CC}})C_0} \right) + \frac{\rho_{\text{CC}} \rho_{\text{FC}} C_2 C_3 D_{\text{RCR}} \eta_{\text{down}}}{(1 - \rho_{\text{CC}})(1 - \rho_{\text{FC}})C_0}.$$

7. Визначимо прямий коефіцієнт випромінювання стіни (WDRC) для кожного RCR:

$$\text{WDRC} = \frac{2,5\eta_{\text{down}}(1 - D_{\text{RCR}})}{\text{RCR}}. \quad (74)$$

8. Наведене вище рівняння може бути використано для розрахунку CU, WEC і CCEC, коли RCR дорівнює нулю, проте вид рівнянь має бути узгоджений, щоб обійти ділення на нуль. Найпростіше використовувати такі співвідношення:

$$\text{CU}_{\text{RCR}=0} = \frac{\eta_{\text{down}} + \rho_{\text{CC}} \eta_{\text{up}}}{1 - \rho_{\text{CC}} \rho_{\text{FC}}}, \quad (75)$$

$$\text{CCEC}_{\text{RCR}=0} = \frac{\rho_{\text{CC}} (\eta_{\text{up}} + \rho_{\text{FC}} \eta_{\text{down}})}{1 - \rho_{\text{CC}} \rho_{\text{FC}}}. \quad (76)$$

6.2 Ефективність світильника

Ефективність світильника є просто відношенням світлового потоку, що виходить із світильника до повного потоку, продукованого лампами. Із наведених вище виразів, ця величина є

$$\text{ефективність світильника} = \frac{\Phi_{\text{luminaire}}}{\Phi_{\text{lamp}}}, \quad (77)$$

Ефективність світильника розглядається в визначенні коефіцієнта використання CU.

6.3 Середня яскравість світильника

Середня яскравість світильника [85] є засобом оцінки впливу, який світильник має на візуальний комфорт, так само, такі як і на вуалюючі відбиття на робочі поверхні, як VTT. Значення може бути легко визначено в будь-якому напрямку за певними фотометричними характеристиками світильника. Оскільки яскравість виражається в канделах на одиницю поверхні, середня яскравість в напрямку (Θ, ψ) (у сферичних координатах) є

$$L(\Theta, \psi)_{\text{avg}} = \frac{I(\Theta, \psi)}{A_{\text{luminaire}} \cos \Theta} \quad (78)$$

де $I(\Theta, \psi)$ – сила світла світильника у напрямку (Θ, ψ) ;

$A_{\text{luminaire}}$ – площа поверхні елементів світильника, що світить.

6.4 Критерій розміщення світильників

Критерій розміщення світильника (Spacing Criterion – SC) є метод класифікації для внутрішніх світильників, який належить до розкиду або розподілу прямої освітленості на горизонтальній площині. Він перевіряє однорідність горизонтальної освітленості на двох різних вибраних точках для встановлення можливої кінцевої границі прийнятної розміщення світильника. Це не є технічною умовою для відношення розміщення і висоти монтування, щоб можна було використовувати в освітлювальній інсталяції, і насправді установка світильників за цих номінальних значень може створювати погану світлову систему.

Мета цього методу класифікації – допомагати проектантам швидко оцінювати цей аспект потенціального світильника відносно його застосування. Він дає деякі ідеї про розподіл потоку від світильника та її подальшого ефекту на параметри освітлювальної системи, використовуючи тільки одне число. Основою критерію розміщення світильника є горизонтальна освітленість на робочій площині, зумовлена прямою

освітленістю від сусідніх світильників. Як перше наближення вважається, що це становить граничний випадок, оскільки відбита компонента освітленості й освітленість, зумовлена більш дистанційно розташованими світильниками, узагалі збільшує однорідність горизонтальної освітленості від точки до точки.

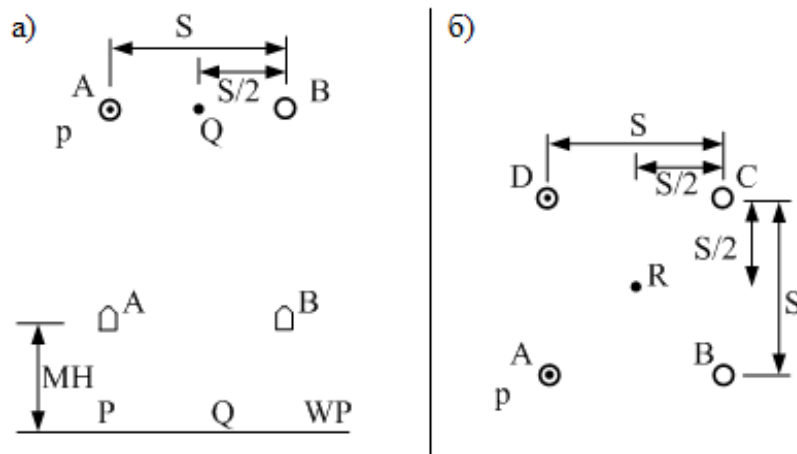


Рисунок 6.3 – Точки Q і R представляють точки з найбільш ймовірно низькою освітленістю для:

а) конфігурації 2 світильника і б) для квадрата 47 світильника

Якщо два подібних умовних світильників є поблизу їхнього максимуму розташування, освітленість прямо від світильника (P) принципово зумовлена верхнім світильником (A) (рис. 6.3 а). Далі, більш ймовірною точкою низької освітленості є середня точка між двома світильниками (Q). Максимум розташування за заданої монтажної висоти над робочою поверхнею вибирається таким чином, щоб освітленість на половині шляху між двома світильниками (Q) зумовлена обома світильниками (A) і (B), дорівнювала освітленості (P), спричиненої тільки одним світильником (A). Інша ймовірна точка (R) для низької освітленості є в центрі квадратного поля сусідніх світильників (рис. 6.3, б). Максимум розташування за цієї висоти монтажу над робочою поверхнею вибирається таким чином, щоб освітленість у центрі світильників (R), зумовлена всіма чотирма світильниками (A, B, C, D), дорівнювала освітленості під одним (P), спричинена тільки одним світильником (A). Максимум розташування (виражене як відношення розташування до висоти монтажу, яке є безрозмірне), яке виконує кожну із названих вище умов, легко визначається за спеціальним графіком (рис. 6.4), використовуючи розподіл сили світла світильника. З метою встановлення цього критерія вважається, що виконується закон обернених квадратів. Тільки це є припущенням для розрахунків.

Методика. Методика обчислення критерію розташування світильника є такою.

А. Для світильників, чий розподіл сили світла є номінально симетричними навколо надіра:

1. Накреслити відносну силу світла світильника на графіку (рис. 6.4);
2. Знайти точку однієї половини сили світла за 0° на ординаті, і провести лінію через цю точку і паралельно діагональним лініям. Якщо сила світла змінюється суттєво в околиці 0° , використовуйте середню силу світла від 0° до 5° полярного кута.
3. Прочитати шкалу А вище перетину цієї лінії з кривою сили світла.
4. Повторити крок 2, використовуючи точку однієї четвертої сили світла за 0° .
5. Прочитати шкалу В вище перетину цієї лінії з кривою сили світла.
6. Нижнє із значень, знайдених за кроками 3 і 5, є критерій розташування світильника. Округлити значення до найближчого 0,1.

В. Для світильників з суттєво асиметричним розподілом сили світла навколо надіра.

1. Незалежно оцінити розподіл сили світла в паралельних (0°) і перпендикулярних (90°) площинах.
2. Застосувати кроки 1, 2 і 3 із означеної вище частини А для кожної кривої сили світла. Округлити до найближчого 0,1.
3. У деяких випадках це може бути відповідно до оцінки розподілу сили світла в 45° площині.

Інтерпретація. Значення від шкали А відповідає критерію розташування світильника в точці Q (рис. 6.3, а) і значення від шкали В відповідає цьому критерію в точці R (рис. 6.3, б). Для симетричних розподілів сили світла критерій розташування світильника потребує прямої горизонтальної освітленості за двох тестових точок, яка повинна бути рівною або більше, ніж освітленість прямо нижче єдиного світильника. Для асиметричних розподілів сили світла взагалі знаходять, що незалежне тестування в точці Q для кожної орієнтації є адекватним. Точка прямо під світильником має відносно високу освітленість і одержує її принциповим внеском від світильника зверху, коли розташування є великим. Якщо освітленість в ймовірно низькій точці, спричинена більш закритими світильниками, є не нижче, ніж та, що за ймовірно високої точки, зумовленій головною компонентою, тоді можливо, що прийнятна однорідність досягається через суцільну робочу площину. Критерій розташування світильника тільки припускає максимум розташування, за якого горизонтальна освітленість є прийнятно однорідною. Коли розглядаються інші критерії, такі як перекриття між світильниками, вертикальна

освітленість, затінення, і розподіл освітленості над робочою площиною, встановлено, що світильники мають бути інстальовані так, щоб відношення розташування до висоти монтажу було менше, ніж значення критерію розташування світильника.

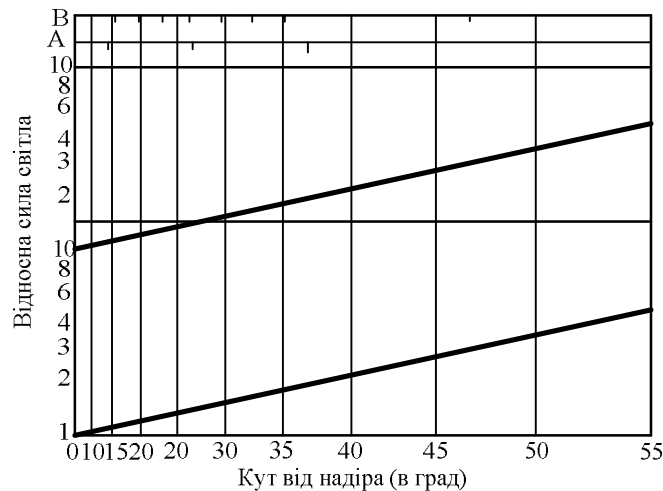


Рисунок 6.4 – Графік для визначення критерія розміщення світильників

У випадку, де однорідність є особливо важливою, світлові дизайнери повинні розраховувати освітленість у кількох точках по всій кімнаті. Пропонується, що максимальне значення в 1,5 повинно призначатися як критерій розташування для будь-якого світильника, оскільки використання більших значень часто не продукує прийнятих освітлювальних інсталяцій, коли досліджуються всі експлуатаційні критерії. Отже, певні світильники проектуються, щоб бути інстальованими за специфічними співвідношеннями розташування, що будь-яке розташування не бажано. У таких випадках критерій розташування світильника не має бути застосованим. Специфічні границі або діапазони для відношень розташування до висоти монтажу має бути рекомендовані виробником, і основою для рекомендацій могло б бути таке формулювання, як певна ступінь однорідності горизонтальної освітленості (визначеної точковим розрахунком).

На додаток до критерію розташування світильника, можна визначити однорідність освітленості для специфічних умов установки і визначити межі відношення розміщення до висоти монтування для таких умов. Якщо це зроблено, розташування світильника, кімнатні умови, критерій однорідності і будь-які обмеження застосування мають бути точно описані.

7 ІНТЕРПРЕТАЦІЯ Й ОБМЕЖЕННЯ РОЗРАХОВАНИХ ВЕЛИЧИН

Розраховані величини можуть бути використані для забезпечення проєктанта освітлювальних систем інформацією, яка не може бути отримана

у інший спосіб, лише макетом освітлювальної установки. Інформація про освітленість, яскравість, світність, контраст, ймовірність візуального комфорту, видимість і метрики візуальних характеристик можуть бути використані для порівняння альтернативних проектів і для верифікації дизайнерських критеріїв, які задовольняються. Ці розраховані величини можуть також бути використані для захисту або вибору технічних умов. Розрахунки часто потребують задовольнити прямі дизайнерські вимоги, нав'язані профсоюзами, власниками, регіональними кодами або подібним.

Комп'ютерні моделі за коректного використання можуть бути важливим інструментом у проектуванні освітлювальних систем для виконання певних дизайнерських критеріїв.

Зважаючи на сучасні досягнення в галузі комп'ютерної графіки, тепер можна спостерігати ефекти освітлювальної системи в кімнаті через комп'ютерно-генероване передавання простору. Серцевиною цього передавання є комплексний світлотехнічний аналіз. Перетворення цих даних за яскравістю до реалістичного вигляду синтетичного зображення потребує спеціальної уваги, оскільки екран комп'ютера має обмежений діапазон необхідних яскравостей. Ці інструменти тепер використовуються професіоналами освітлювання для оцінювання і продажу їхніх проектів. Подальше покращення в цьому процесі буде безперечно робити комп'ютерно-генеровані візуальні методи більш популярними в майбутньому.

Під час розгляду будь-яких світлотехнічних розрахунків результати повинні бути спочатку відсіянні від можливих похибок.

Невідповідне орієнтування або розміщення світильника може продукувати неправильні результати. Невідповідні фотометрія, світловий вихід лампи, або коефіцієнти світлових втрат також можуть призводити до похибок. Якщо виникають неприйнятні результати, похибка може продукуватися як неточний результат. Вважаючи, що результати є для відповідного влаштування освітлювального устаткування і кімнатних приміщень, деякі поради подаються нижче для допомоги оцінки комп'ютерних результатів.

7.1 Освітленість

Часто дизайнер вибирає освітленість завдання і проводить детальний аналіз для визначення, коли забезпечується планове значення. Для неперервної освітленості проект загалом прийнятний, якщо освітленість є в межах 10 % від планового значення. Для цілей енергозбереження значення

нижче планового значення є кращими, ніж значення вищі. Проте складно досягти однорідного значення всюди в середині приміщення або навіть вздовж письмового стола або робочої площини.

Зміну в 15 % освітленості взагалі розглядають як таку, що можна дозволити. В багатьох випадках є прийнятною відповідальність дизайнера для визначення деяких варіацій. Під час оцінювання освітленості важливо фокусуватися на актуальному завданні розміщень. Більшість загальних освітлювальних систем забезпечує вищу освітленість в середині кімнати, ніж біля стін. Якщо принципове завдання розміщення є проти стін, може бути необхідним більш детальний аналіз для належної оцінки освітленості в цих областях.

Такі перешкоди у приміщенні, як перегороди повинні бути розглянуті за моделлю світлотехнічного розрахунку, якщо це можливо. Якщо моделюється порожня кімната, освітленість поблизу вертикальної перегороди можливо є більш нижчою, ніж передбачена.

7.2 Яскравість

Яскравість може бути використана для оцінювання зовнішнього вигляду простору. Зубці, гострі світильнікові зрізи і загальні діаграми яскравості можуть бути вивчені через числові і графічні моделі.

Комп'ютерні передавання або просто нанесення контуру яскравості для кімнатних приміщень може забезпечувати необхідну інформацію для дизайнера, для оцінки експлуатаційних характеристик освітлювального устаткування.

Яскравість може бути також оцінена відносно критерію яскравісного відношення. При освітлюванні приміщення за критеріями VDT, однорідність яскравості на стелі є критичними аспектами для вивчення.

7.3 Контраст

Розрахунок робочого завдання контрасту, зокрема для дзеркальних робочих завдань, забезпечує вказування індикації того, де відбувається вуалююче відбиття в середині приміщення. Контраст може також бути використаний для порівняння характеристик двох різних освітлювальних систем. Метрики видимості й візуальної характеристики, які використовують робоче завдання контрасту, можуть забезпечувати деяку здатність проникнення в сенс контрасту і робочого завдання яскравості, що забезпечує освітлювальна система.

7.4 Ймовірність візуального комфорту

Ймовірність візуального комфорту (Visual Comfort Probability – VCP) є метрикою з обмеженим застосуванням. Вона була розроблена для лінзового люмінесцентного освітлювального устаткування і не використовується з устаткуванням з лампами розжарювання або з лампами високоінтенсивного розряду. Вона не може також використовуватись із світильниками, які мають направлену уверх компоненту. Ніколи не була доведена до точної моделі процедура дискомфорту, спричинена параболічними люмінесцентними світильниками, хоча багато професіоналів продовжують застосовувати її в таких ситуаціях. Параболічні світильники є більш-менш однорідними в яскравості, ніж лінзові світильники, і різниця може мати помітний ефект на комфорті тим, хто знаходиться в приміщенні. Невеликі різниці в VCP не є суттєвими. VCP різниця менше ніж 5 пунктів не вказує на багатозначність різниці у дискомфорту потенціального блиску.

7.5 Порівняння розрахованих і вимірених величин

Хоча здається прийнятним очікувати розрахованих значень величин, які мають бути відтворюваними під час застосування, на практиці дуже важко узгодити виміряні величини з тими, які розраховані. Припущення, притаманні за будь-яких моделей розрахунків, часто становлять умови, які дуже відрізняються від тих, які у справжніх освітлювальних інсталяціях. Деякі з цих умов:

1. Ламбертівські поверхні припускаються в більшості комп'ютерних програм, реальні поверхні можуть містити деяку ступінь дзеркальності.
2. Вхідний коефіцієнт відбиття приміщення кімнати в аналізі програмного забезпечення може не бути точно такими, як є насправді.
3. Зменшена електрична напруга в системі живленні може продукувати зменшений світловий вихід.
4. Припустимий коефіцієнт баласту може набагато відрізнятись від того, що подано в устаткуванні.
5. Теплові ефекти в розміщеному світильнику можуть змінювати світловий вихід.
6. Незначні відмінності, які можуть бути в виробничих процесах або в розміщенні ламп у середині світильника, можуть змінювати фотометричний розподіл світильника.
7. Фурнітура та інші поглинальні і відбиваючі поверхні можуть не розглядатися в комп'ютерних моделях. Не має аналізу моделі, яка є точним уявленням будь-якої реальної кімнати.

8. Спрощувальні припущення в розрахованому методі можуть обмежувати точність результату.

9. Методи фотометрії дальнього поля, застосовані в ситуації ближнього поля, можуть не точно моделювати характеристики світильника.

Іншою причиною неузгодженості можуть бути похибки в вимірювальному процесі. Важливо дотримуватися прямих керівних вказівок, коли вимірюють фотометричні характеристики освітлювальних систем. Наприклад, важливо, щоб освітлювальні системи вимірювались за температур, які становлять умови теплової рівноваги. Нові лампи повинні працювати щонайменше 100 год. перед тим, як проводити вимірювання. Оператор фотометра повинен гарантувати, що його власна присутність не впливає на покази. Орієнтування і позиціонування фотометра є також критичними; триножник з рівнеміром є, зокрема, корисним, коли проводяться вимірювання горизонтальної освітленості. Нарешті, усе природне освітлення має бути усунено від вимірювань внутрішніх освітлювальних систем, за змогою, здійснюючи вимірювання вночі. Будь-яка спроба віднімання рівнів природного освітлення є складною і можливо введення похибок, оскільки для природного освітлення є характерні часові зміни.

Величина відмінності між детальним аналізом методів і полем вимірювань змінюється. Узагалі, може бути очікуваною відмінність менше ніж у 20 %, проте в екстремальних випадках, коли розрахований метод просто не може впоратися із складністю освітлювальної системи, вона може бути більшою.

Більш повно дискусії невизначеностей подані у [83].

8 ПРИКЛАДИ ОСНОВНИХ СВІЛОТЕХНІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

Метою цього розділу є показ того, як застосовувати деякі рівняння і методи, описані в попередніх розділах до освітлюваних проблем. Сім практичних освітлювальних завдань демонструють розрахунки основних одиниць. За виключення візуального завдання контрасту, не демонструється розрахунок похідних величин, також не обчислюється величини, пов'язані з устаткуванням, оскільки вони обчислюються виробниками освітлювального устаткування.

Подальші визначення допомагають організувати базові методики світлотехнічних розрахунків і, насправді, представити порядок, за яким часто проводяться основні розрахунки.

Розрахунки першого порядку: освітленість

1. Прямі розрахунки.

- А. Дифузне, ламбертівське випромінення.
- В. Реальні (недифузні) розподіли випромінення.
- 2. Розрахунок перевідбиттів.

Розрахунки другого порядку й яскравості.

- А. Дифузне, ламбертівське відбиття.
- Б. Реальні (двонаправлені) розподіли коефіцієнтів відбиття.

Розрахунок першого порядку використовується, щоб охарактеризувати світло, яке досягає поверхні. Це і є освітленість. Освітленість на поверхні є результатом того, що світло досягає цю поверхню прямо або із-за перевідбиттів від оточуючих поверхонь. Яскравість описує, як світло створює появу об'єктів, поверхонь і включає визначення контрасту й яскравісних відношень.

Визначення яскравості є розрахунком другого порядку, оскільки воно завжди йде за розрахунком освітленості.

Розрахунок першого порядку (освітленості) є двох типів. Перший тип використовується для визначення, як багато світла досягає поверхні або точки прямо від джерела світла. Другий тип використовується для визначення, як багато світла досягає тієї ж самої поверхні або точки від другого джерела світла, таким є, насправді, освітлення за відбиттям.

Пряма освітленість або середня за поверхнею або в точці на поверхні, трактується як створена світлом, випроміненим прямо від точкового джерела (як у випадку лампи розжарювання підвісного світильника, що світить вниз), лінійним джерелом (вузький люмінесцентний світильник), або поверхневим джерелом (вікном). Ці прямі розрахунки освітленості припускають одну із двох типів випромінювачів, дифузний або не дифузний.

Дифузні випромінювачі ідеалізуються наближенням до реальності, яке робить розрахунки простішими для проведення. Такі випромінювачі відповідають ламбертівському закону косинусів випромінення. Це наближення є корисним і притаманне таким відбиваючим матеріалам, як вкриті тканиною перегородки, пофарбовані і покриті латексом стіни, а також деяких пропускних матеріалів таких, як, наприклад, лицевий бік білого пластикового знаку. Деякі напівсвітні джерела, як, наприклад, поверхня люмінесцентної лампи, можуть також розглядатися як дифузні випромінювачі.

Недифузні випромінювачі мають специфічні розподіли сили світла, які визначаються фотометричними випроміненнями. У цьому розділі вони розглядаються як реальні випромінювачі. Світильники майже завжди трактуються як реальні випромінювачі.

Перевідбиття є повторюваним відбиттям світла між поверхнями. Для розрахунку перевідбиттів поверхні завжди вважаються дифузними відбивачами. Ці поверхні мають кінцеву площу, їхня кількість і розміри диктуються точністю, необхідною для розрахунків. Більше поверхонь меншого розміру визначається для точніших обчислень перевідбиттів. Розрахунок перевідбиттів веде до значень поверхневої світності, які тоді використовуються як джерело освітлення. Ці значення створюють величину, названу компонентою перевідбиття в розрахунку освітленості.

Для деяких обчислювань освітленості, таких як непряма електрична освітлювальна система, є доцільними тільки перевідбиття. Для деяких прямих освітлювальних систем перевідбиття є внеском в загальну освітленість, яким можна знехтувати. У цих випадках дизайнер, експериментуючи, не застосовує обчислення.

Розрахунки другого порядку (яскравість) у цьому розділі необхідні для яскравості, створюваної відбиттям. Відбивальні характеристики поверхні визначають її яскравість коли наразі світло досягає поверхні. Існують два типи розрахунків яскравості: для поверхонь, які можуть бути апроксимовані дифузним відбиттям (тобто такими, які відповідають ламбертівському закону) і такі, які мають бінаправлені характеристики відбиття поверхні. Бінаправленість означає, що коефіцієнти відбиття поверхні залежать від обох (як падаючого, так і вихідного) напрямків світла. Усі реальні поверхні характеризуються бінаправленою функцією розподілу коефіцієнта відбиття (Bidirectional Reflectance Distribution Function – BRDF).

Напрямок падіння світла є важливим для розрахунку яскравості реальних поверхонь.

8.1 Загальний алгоритм для світлотехнічних розрахунків

Наступне обговорення становить загальний алгоритм для світлотехнічних розрахунків. Він складається із шістьох кроків:

1. Визначення величини, яка має бути розрахована.
2. Ідентифікація світильників і інформація, яка описує їх.
3. Визначення точності, складності і подробиць розрахунку.
4. Ідентифікація необхідних геометричних, відбиваючих та інших допоміжних даних.
5. Визначення відповідних рівнянь або обчислювальної процедури.
6. Вирішення рівнянь або завершення процедури.

Розглянемо детально кожен крок.

1. *Визначення величини розрахунку.* Оцінювання пропонованої, освітлювальної системи є першим кроком у процесі світлотехнічного розрахунку. Це оцінювання містить визначення того, що необхідно для розрахункової і витребуваної точності обчислювань.

Перелік у порядку збільшення складності для величин, які розглядаються у цьому розділі на прикладі обчислень, є таким:

- середня освітленість на поверхні;
- освітленість у точці;
- середня світність і середня дифузна яскравість поверхні;
- світність і дифузна яскравість у точці;
- не дифузна яскравість.

Ці основні величини використовуються в широкому діапазоні освітлювальних застосувань. Обчислювальні процедури для їх визначення є незалежними від специфіки освітлювальних застосувань, у яких вони використовуються. Деякі застосування, як спортивне і дорожнє освітлювання, використовують координатні системи і коефіцієнти світлових втрат у сфері характерних особливостей до цих застосувань.

Здійснення цих розрахунків має важливе значення, яке вони демонструють, що є і що не є важливим для світлового дизайну. Наприклад, поверхневі коефіцієнти відбиття можуть суттєво впливати на світлову густину потужності, яка необхідна для забезпечення рівнів освітленості, необхідних у внутрішніх приміщеннях.

2. *Ідентифікувати геометрію світильника і розподіл сили світла.* Для цілей розрахунку джерела світла можуть бути класифіковані об'ємом і розмірами, які вони досягають що відношення до відстаней, які включаються в обчислення.

Звичайно використовується правило п'яти разів, для цього визначення. Відповідно до нього, якщо відстань між світильником і обчислюваною точкою є більша, ніж у п'ять разів найбільшого розміру світильника, світильник можна вважати за точкове джерело. Таким чином, це відношення розміру світильника до обчислювальної відстані, яке керує обчислювальним розміром або геометричною категорією світильника. Вважаючи світильник прямокутним, наступні критерії мають силу:

- якщо обидва їхні розміри є меншими, ніж одна п'ята відстані обчислювань, світильник розглядається як точкове джерело;
- якщо тільки один розмір більший, ніж одна п'ята обчислювального розміру, світильник розглядається як лінійне джерело;

- якщо обидва є більшими, ніж одна п'ята обчислювальної відстані, світильник розглядається як поверхневе джерело.

Інформація щодо точкових, лінійних і поверхневих джерел подана в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Приклади деяких точкових, лінійних і поверхневих джерел

Геометрія	Приклади
Точкове	75-W лампа розжарювання А8 д діаметра. Стельовий світильник, що використовується з 8-фт стелею. 1000-W металогалоїдний промисловий світильник із 24-д рефлектором, змонтований на висоті 25 фт
Лінійне	4-фт не екрановані Т-12 люмінесцентні лампи в невеликій майстерні 6 д × 4 фт волвошери з двома Т-8 люмінесцентними лампами.
Поверхневе	2×4 фт троффер із трьома Т-12 люмінесцентними лампами і призматичними лінзами в класних кімнатах з 9 фт стелями. 2×2 фт параболоїдний троффер із двома 39 Вт компактними люмінесцентними лампами, втоплений в 10 фт стелю і 4 фт від стелі, на якій має бути розрахована яскравість. 4 д×2 фт світильник з 20 Вт - 5 люмінесцентними лампами і призматичними лінзами, змонтований під книжною полицею над письмовим столом

Для розрахункових цілей розподіли сили світла розглядаються або дифузними або не дифузними. Дифузний розподіл сили світла (рис. 8.1) визначається як

$$I(\Theta, \psi) = I_n \cos \theta, \quad (78)$$

де: I_n – нормальна сила світла (n) до світньої поверхні;

Θ – кут, вимірюваний від нормалі;

ψ – азимутальний кут.

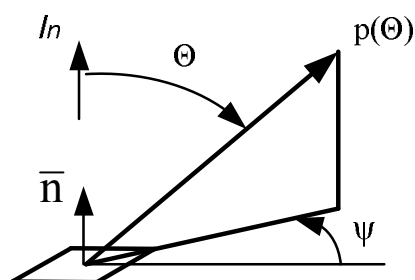


Рисунок 8.1 – Ілюстрація кутів для дифузного розподілу сили світла

Дифузний розподіл сили світла не залежить від азимутального кута ψ і є аксіально симетричним відносно нормалі до світної поверхні.

Це досягається тим, що сила світла змінюється тільки від косинуса кута нахилу Θ .

Якщо розподіл сили світла дається $I(\Theta, \psi)$, а відношення

$$\frac{I(\Theta, \psi)}{I(0^\circ, 0^\circ) \cos \theta}$$

відрізняється від 1, 0 більше ніж 10° для будь-якої сили світла, тоді розподіл розглядається як не дифузний. У результаті похибка може бути значною, якщо такий розподіл розглядається як дифузний.

Більшість розподілів сили світла, які реалізуються електричним освітлювальним устаткуванням, є не дифузними.

3. Визначення точності і складності.

Точність. Вимоги точності є різними для різних стадій процесу світлового проекту. Попереднє визначення типу джерел і необхідної ефективності світильника може бути зроблено, знаючи необхідну середню освітленість. Точність у $\pm 100\%$ є взагалі достатньою для цього визначення. Тоді попередній вибір загального типу і кількість світильників може бути зроблений, знаючи середню освітленість необхідного. Точність у $\pm 25\%$ є взагалі достатньою для цієї стадії. Розрахунок освітленості в точці потребує того, що специфічний розподіл сили світла і розташування світильників мають бути відомими. У таблиці 8.2 подані дані про необхідність точності на різних стадіях процесу проектування.

Таблиця 8.2 – Очікувана точність світлотехнічних розрахунків

Наявна інформація	Припущення, необхідні для проведення розрахунку	Можливі типи розрахунків	Приблизна точність
Потужність лампи і ефективність	Ефективність світильника	Середня освітленість	$\pm 100\%$
Світловий вихід світильника	Світловий потік між 0° і 45°	Середня освітленість	$\pm 25\%$
Світловий потік лампи, коефіцієнт використання	ні	Середня освітленість світності або дифузна світність	$\pm 10\%$
Розподіл сили світла	ні	Освітленість, світність або яскравість в точці	$\pm 5\%$

Важливість результату і наслідки невизначеності визначають витребовану точність розрахунку. Точність, з іншого боку, визначає складність і вартість розрахунку. Для цілей оцінювання освітленості, її відношення до бачення і характеристик видимості освітлювальних систем, точність у $\pm 25 \%$ є ймовірно достатньою. Яскравості, які використовуються для визначення контрасту матеріалів читання, можуть бути розраховані з точністю $\pm 10 \%$.

Для специфікацій, юридичних цілей і для порівнянь, часто бажаним є розрахунок із точністю в $\pm 5 \%$. Прийнятна верхня границя, до якої може бути очікувана розрахована точність, встановлюється невизначеністю вимірювань. Навіть за високоякісного світлового вимірювального устаткування точність у $\pm 5 \%$ є звичайно кращою, ніж можна очікувати. Розрахована точність більше, ніж ця, не може бути перевірена вимірюванням.

Складність. Обчислювання складності визначається геометрією задачі. Наприклад L – конфігурація кімнати є щодо розрахунку більш складною, ніж прямокутна кімната. Таким способом часткові тіні відгороджень і відбиття додають значної складності до розрахунків, проте складні розрахунки є більш точними. Необхідні точності є часто різними для прямої і перевідбитої компоненти. Хоча це може бути необхідним для розрахунку прямої і перевідбитої компоненти, домінуюча компонента повинна завжди бути розрахована з набагато більшою точністю. Це впливає на складність розрахунків.

4. *Ідентифікувати необхідні геометричні, відбиваючу здатності і допоміжні дані.*

Геометричні дані. Кімнатні розміри, об'єми відгороджень і розташування, а також така інформація про орієнтацію поверхонь, як нахил стелі є необхідною геометричною інформацією для розрахунку.

У такий спосіб необхідно визначити розміри і розташування світильників.

Дані про відбиваючі характеристики. Коефіцієнти відбивання поверхонь часто невідомі при світлотехнічному проектуванні і під час розрахунків. Невідомі коефіцієнти відбиття продукують невизначеність, яка може бути визначена розрахунком. У таких випадках ці величини, зумовлені відбиттям, обчислюються двічі, використовуючи найнижче і найвище прийнятні значення коефіцієнта відбиття, які б могли бути насправді. Якщо ці два значення лежать поза межами вимог точності, поданих у таблиці 8.2 і нижче в кроці 5, тоді потребується специфікація для коефіцієнта відбиття на поверхні. З іншого боку, якщо діапазон є малим, коефіцієнти відбиття можуть

залишатися невідомими, а їхні знайдені значення не суттєво впливають на робочі характеристики освітлювальних систем.

Допоміжні дані. Ці дані часто є специфічними для особливого призначення. Прикладами таких даних є BRDF для візуальних завдань, є таблиці для обчислювань яскравостей доріг, коефіцієнти узгодження застосування (Application Adjustment Factors – AAF_s) спортивного освітлювання і кліматичні дані та місцезорозташування для розрахунку природного освітлення.

5. *Визначити відповідні рівняння.* Відповідні рівняння для розрахунку середньої освітленості робочої площини визначаються витребуваною точністю. Зазначимо, що наступні рівняння для забезпечення точності також містять коефіцієнти світлових втрат.

Для прямих освітлювальних систем із точністю в $\pm 100 \%$,

$$E_{ave} = \frac{\text{потужність лампи} \times \text{ефективність} \times \text{ефективність світильника} \times \text{кількість ламп}}{\text{освітлювальна поверхня}}$$

Не прямих освітлювальних систем із точністю $\pm 100\%$,

$$E_{ave} = \frac{\text{потужність лампи} \times \text{ефективність} \times \text{ефективність світильника} \times \text{кількість ламп} \times 0,8 \times \text{коефіцієнт відбиття стелі}}{\text{освітлювальна поверхня}}$$

Коефіцієнт вище 0,8 є прийнятним середнім значенням у більшості кімнат, для яких установлюється форм-фактор між стелею й підлогою. Це для типових кімнат частина світлового потоку, випромінюваного стелею, що досягає підлоги, є 0,8.

Для прямих освітлювальних систем і точністю в $\pm 25 \%$

$$E_{ave} = \frac{\text{світловий потік лампи} \times \text{ефективність світильника} \times \text{кількість ламп} \times \text{частина світлового потоку світильника між } 0^\circ \text{ і } 45^\circ}{\text{освітлювальна поверхня}}$$

Кількість між 0° і 45° є прийнятним значенням для світлового потоку світильника, який досягає підлоги прямо в кімнатах з типовими пропорціями. Не має рівняння для непрямих освітлювальних систем із точністю в $\pm 25 \%$.

Для прямих і непрямих освітлювальних систем із точністю в $\pm 10 \%$:

$$E_{ave} = \frac{\text{світловий потік лампи} \times \text{коефіцієнт використання} \times \text{кількість ламп}}{\text{освітлювальна поверхня}}$$

Для точності в $\pm 5 \%$ необхідно знати розподіл сили світла. Відповідні рівняння розрахунку для прямої компоненти витікають від геометрії джерела, як подано в таблиці 8.3. Відповідні рівняння для компоненти перевідбиття для розрахунку одержуються із переносу випромінювання. Кімнатні поверхні поділяються на дискретні елементи, розраховується світність кожного.

Кількість елементів (більше або менше) визначається точністю розрахунку перевідбиття.

Таблиця 8.3 – Рівняння для обчислювання прямих компонентів

Геометрія джерела	Рівняння	
	Дифузний розподіл	Не дифузний розподіл
Точка	Косинусний закон обернених квадратів	Косинусний закон обернених квадратів
Лінія	Коефіцієнт конфігурації від лінії до точки	Косинусний закон обернених квадратів, де лінія дискретизується на відрізки, які трактуються як точкові джерела
Поверхня	Коефіцієнт конфігурації від поверхні до точки	Косинусний закон обернених квадратів, де поверхня дискретизується на частини, які трактуються як точкові джерела

6. *Вирішення рівняння.* Ручний розрахунок застосовується для невеликих задач з прямими нескладними рівняннями. Вони можуть часто використовуватися табличними програмами, а також є корисною опцією для спеціалізованого програмного забезпечення, які легко вивчаються і використовуються, і можуть бути дуже потужними. Більш розвинені комп'ютерні програми є необхідними для складних, повторюючих або розширювальних розрахунків.

9 СИСТЕМА КООРДИНАТ ДЛЯ ФОТОМЕТРІЇ СВІТИЛЬНИКІВ

Багато світлотехнічних розрахунків містить використання даних розподілу сили світла, які забезпечують фотометричні звіти виробниками. Застосовуються дві основні системи координат для фотометрії світильника: сферична система координат і полярна система координат.

Напрямки відносно лампи або світильника визначається в сферичній системі координат кутами Θ (висота) і ψ (азимут). Часто використовується умова, за якою азимутальний напрямок вздовж осі лампи є $\psi = 0^\circ$ або $\psi = 180^\circ$, проте коли мова йде про на дані фотометричного звіту необхідно приділити належну увагу тому, як визначається початок координати ψ . Терміни та символи, які використовуються для опису напрямків вздовж осі лампи є

- вздовж, паралельно, ||,
- поперек осі лампи,
- впоперек, перпендикулярно, +.

Полярні графіки дають криві, які визначають зміну $I(\Theta, \psi)$ за координатою ψ в азимутальній площині для заданого кута Θ . Полярний графік масштабується в канделах, виміряних радіально від фотометричного центра. Якщо розподіл сили світла є сталим навколо вертикальної осі (як навколо світильників, що світять униз і мають вертикальну орієнтацію), тільки одна крива дається і кут ψ не визначається. Якщо розподіл сили світла є симетричним навколо обох паралельних і перпендикулярних горизонтальних вісей (як з горизонтально вмонтованою люмінесцентною лампою), криві можуть бути одержані тільки для кутів від 0° до 90° . Такий розподіл називається чотирибічним і симетричним. У цьому випадку, еквівалентні значення ψ для кутів, які є між 90° і 360° , обчислюються у такий спосіб (табл. 9.1):

Таблиця 9.1 – Еквівалентні значення ψ для кутів

Діапазон ψ	Еквівалентний кут
90° до 180°	$180^\circ - \psi$
180° до 270°	$\psi - 180^\circ$
270° до 360°	$360^\circ - \psi$

Цей еквівалентний кут є кутом, направленим ввєрх, який використовується в таблиці значень сили світла.

З меншою симетрією і зменшенням складності оптичного контролю полярні графіки потребують більше азимутальних площин (і відповідно більше кривих) для адекватного визначення характеристик світильника. Інколи потребується сила світла світильника за кута, який не внесений у фотометричний звіт. У таких випадках необхідна інтерполяція, щоб отримати точні результати. Лінійна є найпростішою формою інтерполяції, що використовуються, хоча можливі більш складні способи [3, 4].

У таблиці 9.2 міститься приклад часткової сили світла для уявного світильника. Висотні кути даються в інтервалах 10° , і подані три азимутальних кути (0° , 45° і 90°). Щоб визначити силу світла для азимутального кута в 45° і кута висоти, наприклад $42,7^\circ$, може бути використана така процедура: має бути обчислений дріб, що дорівнює різниці між 40° і $42,7^\circ$ на різницю між 40° і 50° :

$$\frac{42,7^{\circ} - 40^{\circ}}{50^{\circ} - 40^{\circ}} = \frac{2,7^{\circ}}{10^{\circ}}$$

Із таблиці сили світла за 40° із 3012 кд і сила світла зав 50° із 3133 кд. Різниця між цими двома значеннями з 3133 - 3012 = 121 кд і 27 % цієї різниці є 32,7 кд. Це значення тоді додається до сили світла за 40°. Таким чином, сила світла за висоти 42,7° і азимуту в 45° встановлюється 3012 + 32,7 = 3044,7 або 3045м кд. Спосіб перевірки цього інтерпольованого значення на коректність є таким, що значення повинно лежати між обмежуючими точками в таблиці (3045 кд лежить між 3012 і 3133 кд).

Таблиця 9.2 – Приклад часткового розподілу сили світла

Висота θ	Сила світла (кд) при азимуті, ψ		
	0°	45 °	90 °
0°	1866	1866	1866
10°	2019	2663	2304
20°	2431	2721	2612
30°	2512	2964	2581
40°	2639	3012	2744
50°	2818	3133	3008

Приклади, які наводяться, беруться із реальних застосувань. Вони призначаються для ілюстрації загального алгоритму, світлотехнічних розрахунків, які обговорювалися вище. Тільки в рідкісних випадках ці приклади можуть представляти складний аналіз світлотехнічних обчислень. Проте, очікується, що попереднє обговорення і наступні приклади ведуть до збільшення розуміння невидимого процесу комп'ютерних розрахунків. Усі подальші приклади використовують англійські одиниці вимірювань (фут, дюйм і фут-кандели). Це зроблено для полегшення розуміння базових розрахунків для аудиторії, добре знайомої з системами одиниць.

Таблиця 9.3 – Приклади розрахунків і їх застосування

Розрахована величина	Можливі застосування	Приклад*
1	2	3
Середня освітленість	Велика кімната з декількома світильниками і невизначеним розташуванням робочого завдання	1
Освітленість у точці	Локалізоване, відоме розташування робочого завдання, акцентоване освітлення або оцінювання однорідності освітлювальної системи	2(точка) 3 (лінія) 4 (поверхня)

Продовження таблиці 9.3

1	2	3
Середня освітленість	Коли перевідбиття є критичними, до освітленостей розрахованих вище (світність є фундаментальною величиною для розрахунку дифузної яскравості)	5
Освітленість у точці	Розрахунок яскравості, контрасту або відношень яскравості і точки для дифузних поверхонь	6
Недифузна яскравість	Матеріали читання (знаки, друк) і глянцеві поверхні	7

Примітка:

1. Метод Люмена для середньої освітленості в кімнаті з перегородками. 2. Освітлення паркінгу. 3. Освітлення класної дошки в класі. 4. Дифузне верхнє освітлення письмового стола. 5. Перевідбиття від денного світла. 6. Яскравість, продукувана точковим джерелом для робочого завдання освітлення письмового стола. 7. Оцінювання контрасту, продукуваного на друкованих матеріалах

У таблиці 9.3 подано підсумовуючі приклади розрахунків та їх застосування. Корисніші та найбільш широко використовуваними є такі для освітленості, як в точці, так і середня за поверхнею. Всі ілюстрації для цих прикладів зроблені, використовуючи комп'ютерні проектні системи, подібні до тих, які б могли бути використані в багатьох архітектурних освітлювальних дизайнерських фірмах.

Приклад 1. Метод Люмена для середньої освітленості.

Уставом для цього прикладу є невеликий відкритий план офісу з шістьма робочими місцями, які формуються відгородженнями, у цьому просторі широко використовуються VDT. Розміри офісу 36×30 фт з висотою у 95 фт від підлоги до стелі. Перегороди: 65 фт висотою, і кожне робоче місце 12×12 фт, схема перегороджень і столів подана на рисунку 9.1, а. Переріз, який показує кімнатні приміщення, що використовуються подано на рисунку 9.1 б.

1. Визначення величини для розрахунку. Вирішується, що непряма освітлювальна система використовується в цьому просторі з метою забезпечення експлуатаційної освітленості в 40 фк на горизонтальних поверхнях столів, які є на відстані 2,5 фт від підлоги. Щоб використовувати VDT у просторі необхідний світловий контроль. Кількість світильників, які необхідні для створення настільної освітленості в середині перегородження робочих місць, є величиною, яка повинна розраховуватись.

2. Ідентифікація та інформація, що описує їх. Використовуються непрямі світильники. Світильник використовує розташовані в лінію

люмінесцентні лампи Т-8 (світловий потік лампи = 2900 лм) і є здатним на продовження довжини, помноженням на 4 фт до максимуму довжини в 24 фт. Довжина почіпу, рекомендована виробником, складає 1,5 фт. Фотометричні дані включають CU, які подані в таблиці 9.4.

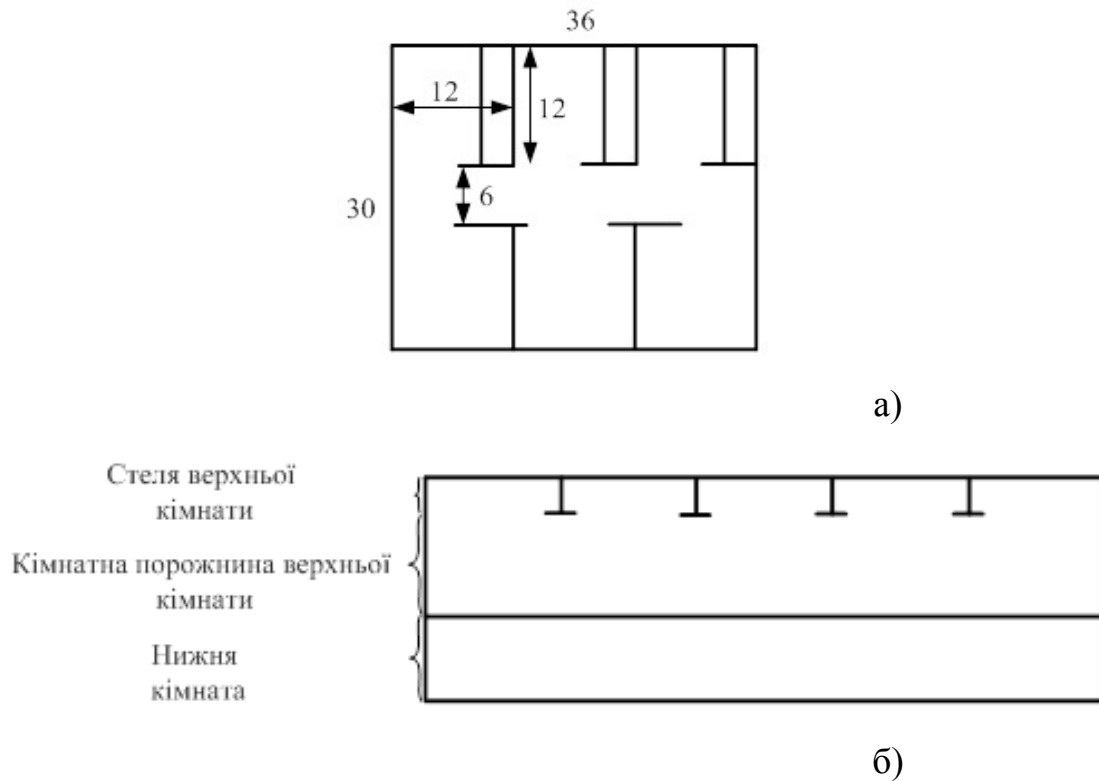


Рисунок 9.1 – План офісу для прикладу 1:
а) схема; б) переріз

Таблиця 9.4 – Коефіцієнти використання для непрямого світильника в прикладі 1

RCR	$\rho_{floor} = 20$							
	$\rho_{ceiling} = 80$			70			50	
	$\rho_{wall} = 70$	50	30	70	50	30	50	30
0	75	75	75	73	73	73	70	70
1	71	69	68	70	68	66	65	64
2	67	64	61	66	63	61	61	59
3	64	59	56	62	58	55	57	54
4	60	55	51	59	54	51	53	50
5	56	50	46	55	50	46	49	45
6	53	47	43	52	46	42	45	42
7	50	43	39	49	43	39	42	38
8	46	39	35	45	39	35	38	35
9	43	36	32	42	36	32	35	31
10	40	33	29	39	33	29	32	28

3. Визначення точності, складності та деталі розрахунків.

Метод Люмена використовується для визначення кількості необхідних світильників, де наступні коефіцієнти світлових втрат знаходяться: коефіцієнти зниження світильника із-за бруду; коефіцієнт зниження світлового потоку лампи, і коефіцієнт баласту. Роблять припущення, що інші коефіцієнти світлових втрат мають значення 1,0 для цього прикладу.

Стратегія наступних розрахунків використовується для того, щоб взяти до уваги світлові втрати і затінення, створювані перегородками:

а) індивідуальне відгороджене робоче місце трактується як мала кімната;

б) уявна горизонтальна площина на рівні верху перегородок становить стелю індивідуального робочого місця. Перегородки формують стіни цього робочого місця і дійсна робоча площина під час розрахунків розглядається як підлога. Коефіцієнт відбиття стелі є ефективним коефіцієнтом приміщення верхньої частини кімнати, а коефіцієнт відбиття підлоги є середньозваженим за поверхнею коефіцієнтом відбиття поверхні стола, ефективний коефіцієнт відбиття приміщення поверхонь нижче робочої площини. В обох випадках ефективний коефіцієнт відбиття приміщення розглядається з погляду між площиною стелі робочого місця і робочою площиною;

в) необхідна освітленість на поверхні стола створюється взятими до уваги перевідбиттями в середині робочого місця, якщо достатньо світла перетинає площини стелі робочого місця;

г) світловий перетин площини стелі робочого місця може характеризуватися і як світністю із спостереження усередині робочого місця, і як освітленістю з точки спостереження вище площини стелі робочого місця. Робиться припущення, що розподіл світлового перетину площини стелі робочого місця є дифузним;

д) для цілей розрахунку світлового потоку в середині робочого місця площина стелі робочого місця може розглядатися як ідеально дифузний світильник. Таким чином, можуть бути застосовані коефіцієнти використання ідеального дифузного випромінювача;

е) розраховується світловий вихід дифузного світильника (це є дифузна світність площини стелі робочого місця);

ж) світність чисельно дорівнює освітленості, яка має бути створена верхньою частиною кімнати на площині стелі робочого місця. Площина стелі робочого місця може розглядатися підлогою верхньою частиною кімнати з витребованою освітленістю. Вона має коефіцієнт відбиття, який є ефективним коефіцієнтом відбиття приміщення відгородженого робочого місця;

з) метод Люмена застосовується до простору вище перегороджень для визначення кількості непрямих світильників, що необхідні для створення цього освітлення. Для цього розрахунку коефіцієнти використання для непрямого світильника застосовуються.

4. Ідентифікація необхідних геометричних коефіцієнтів відбиття і допоміжних даних.

Коефіцієнти дифузного відбиття кімнатних поверхонь подано в таблиці 9.5.

Таблиця 9.5 – Коефіцієнти дифузного відбиття кімнатних поверхонь

Кімнатна поверхня	Коефіцієнт дифузного відбиття
Підлога	0,25
Стіни	0,60
Стеля	0,80
Перегороди	0,65
Поверхні стола	0,35

Вважається, що люмінесцентні освітлювальні системи діють неперервно робочий день, що відповідає 10 год. роботи. Мають також на увазі перелік технічного обслуговування, завдяки якому лампи і світильники очищуються кожного року.

Коефіцієнт світлових втрат світильника завдяки забрудненню визначається процедурою, поданою у таблиці 2.3. Оскільки світильник має світлонепроникливу нижню поверхню і не має верхнього загородження, він належить до категорії технічного обслуговування VI.

Використовуючи метод, поданий в таблиці 2.4, має бути класифікована діюча атмосфера, і для цієї ситуації визначається як чиста. Коефіцієнт світлових втрат світильника завдяки забрудненню тоді визначається із рисунка 2.3, а також крива зниження для світильників, діючих у чистій атмосфері. Для щорічного циклу технологічного обслуговування коефіцієнт зниження світильника із-за забруднення визначається як 0,85.

Посилаючись на дані виробників для специфічних типів ламп, які використовуються, можна зробити точніше визначення.

Фактор баласту для магнітних баластів, які використовуються у певному світильнику є 0,95. Повний коефіцієнт світлових втрат (LLF) визначається у такий спосіб:

$$LLF = 0,85 \times 0,88 \times 0,95 = 0,711$$

5. Визначити відповідні рівняння.

Із рівняння 47 методу Люмена, що визначає необхідне число світильників, виходить:

$$\text{Кількість світильників} = \frac{E_{\text{maintained}} \times \text{площа робочого місця}}{\text{лампи на світильник} \times \text{люмени лампи} \times CU \times LLF}$$

6. Вирішити рівняння.

Метод Люмена застосовується до першого робочого місця. CU визначається із відношення кімнатного приміщення (RCR) і коефіцієнтів відбиття поверхні (визначається, як показано в підрозділі «Обчислення середньої освітленості. Метод Люмена»).

$$RCR = \frac{5h(l+w)}{l+w},$$

де h – висота приміщення;

l – довжина приміщення»

w – ширина приміщення.

Оскільки стелею робочого місця є рівень верху перегородки, а підлогою є рівень робочої поверхні, тоді висота приміщення є 5 – 2,5 – 2,5 фт. Це значення і розміри робочого місця дають

$$RCR = \frac{5 \times 2,5 \times (12 + 12)}{12 + 12} = 2,08$$

Нижче рівня робочої поверхні є порожнина полу, для якої має бути визначений ефективний коефіцієнт відбиття. Він має базовий коефіцієнт відбиття в 0,25 (для дійсних підлог), коефіцієнт відбиття стіни в 0,60, і відношення порожнини підлоги (FCR) дається

$$FCR = \frac{5 \times 2,5 \times (12 + 12)}{12 + 12} = 2,08$$

Таблиця 5.2 необхідна для визначення ефективного коефіцієнта відбиття порожнини підлоги (ρ_{FC}), використовуючи відношення порожнини підлоги 2,08 і коефіцієнти відбиття 0,25 і 0,60. За лінійною інтерполяцією результат є $\rho_{FC} = 0,23$.

У таких малих просторах, як робоче місце, розмір стола є суттєвим. Середній поверхнево-площинозважений коефіцієнт відбиття ($\rho_{FC \text{ ave}}$) може бути визначений для підлоги або основи порожнини, як подано в рівнянні 55. Для поданого випадку:

$$\rho_{FC \text{ ave}} = \frac{A_{FC} \cdot \rho_{FC} + A_{DT} \cdot \rho_{DT}}{A_{FC} + A_{DT}},$$

де індекс DT вказує на верх столу;

A_{FC} і A_{DT} вказують на поверхні підлоги і верху стола відповідно. Якщо поверхня верху столу є 18 фт^2 , ефективний коефіцієнт відбиття порожнини підлоги становить

$$\rho_{FC\text{ave}} = \frac{(12 \times 12 - 18) \times 0,23 + 18 \times 0,35}{(12 \times 12 - 18) + 18} = 0,245$$

Коефіцієнт відбиття призначений до площини стелі робочого місця і є ефективним коефіцієнтом відбиття верхньої частини кімнати з точки спостереження в середині робочого місця. Оскільки висота кімнати є $9,5 \text{ фт}$ і перегородка 5 фт заввишки, то висота порожнини є $4,5 \text{ фт}$. Відношення порожнини стелі (Ceiling Cavity Ratio – CCR) дається:

$$CCR = \frac{5 \times 4,5 \times (36 + 30)}{36 + 30} = 1,37$$

Базовим коефіцієнтом відбиття цієї порожнини є коефіцієнт відбиття стелі кімнати, $0,80$, а коефіцієнт відбиття стіни є коефіцієнт відбиття стіни кімнати $0,6$.

Спираючись на таблицю 5.2, ефективний коефіцієнт відбиття порожнини стелі для робочого місця є $0,65$.

Отже, параметри для визначення CU у робочому місці є $RCR=2,085$; $\rho_{\text{ceiling}}=0,65$; $\rho_{\text{walls}}=0,60$ і $\rho_{FC\text{ave}}=0,245$. Таблиця для CU ідеально дифузного випромінювача подається в таблиці 5.2. Лінійна інтерполяція дає значення $CU=0,8$.

За таблицею 5.6 вважається, що всі значення коефіцієнта відбиття порожнини підлоги $0,20$. Таким чином, у цій ситуації значення CU має бути модифіковано, беручи до уваги високий коефіцієнт відбиття порожнини підлоги. Множник для цієї мети інтерполюється із таблиці множників на таблиці 5.6. Для $\rho_{FC\text{ave}}=0,245$, і результатом є множник $1,06$, і отже, $\tilde{N}U=0,80 \times 1,06=0,85$.

Із рівняння метода Люмена, кількість люменів, які потребуються для проходження через площину стелі робочого місця, становить:

$$\frac{\text{Необхідне}}{\text{число люменів}} = \frac{E_{\text{maintained}} \times \text{поверхня робочої площини}}{CU} = \frac{(40 \times 12 \times 12)}{0,85} = 6776 \text{ лм}$$

Освітленість, яка має бути утворена на цій площині, є такою:

необхідна

$$E_{\text{required}} = \frac{\text{кількість люменів}}{\text{поверхня робочого місця}} = 47 \text{ фк}$$

Метод Люмена тепер застосовується до верхньої частини кімнати. Висота кімнатного приміщення є відстанню між верхом відгородження і почепленими світильниками 3 фк, RCR є

$$\text{RCR} = \frac{5 \times 3 \times (36 + 30)}{36 + 30} = 0,916$$

Оскільки світильники підвішені, має бути визначений ефективний коефіцієнт порожнини стелі, CCR є

$$\text{CCR} = \frac{5 \times 1,5 \times (36 + 30)}{36 + 30} = 0,458$$

Базовий коефіцієнт відбиття цієї поверхні є коефіцієнт відбиття стелі кімнати, 0,80, і коефіцієнт відбиття стіни є коефіцієнт відбиття стіни кімнати 0,60. Звертаючись до таблиці 5.2, ефективний коефіцієнт відбиття поверхні стелі є $\rho_{\text{CC}} = 0,74$.

Ефективний коефіцієнт відбиття підлоги кімнати визначається із даних про робочі місця. Ефективний коефіцієнт робочої площини, після розрахування становить 0,245, і ця площа формує основу простору. Перегородки, мають коефіцієнт відбиття 0,65 і формують стіни простору. Висотою простору є висота між робочою площиною і площиною стелі робочого місця, 2,5 фт. Відношення простору (Cavity Ratio – CR) є

$$\text{CR} = \frac{5 \times 25 \times (12 + 12)}{12 \times 12} = 2,08$$

Звертаючись знову до таблиці 5.2, ефективний коефіцієнт відбиття поверхні підлоги, який дорівнює $\rho_{\text{FC}} = 0,24$.

Таким чином, параметри CU є: RCR=0,916, $\rho_{\text{CC}} = 0,74$, $\rho_{\text{wall}} = 0,60$ і $\rho_{\text{FC}} = 0,24$.

Інтерполяція в таблиці CU для непрямого світильника (табл. 9.4) дає CU=0,67. Як і в попередньому випадку, множник має бути визначений для коригування різниць між припущеним коефіцієнтом відбиття підлоги 0,20 і значенням 0,24. Із таблиці 5.5, результатом є множник 1,08. Таким чином, коригувальний коефіцієнт використання є CU=0,67x1,08=0,72. Іншими параметрами рівняння метода Люмена є кількість ламп на світильник, що дорівнює 1 і світловий потік лампи, що дорівнює 2900 лм.

Остаточо, кількість світильників є

$$\text{кількість світильників} = \frac{E_{\text{maintained}} \times \text{поверхня робочої площини}}{\text{лампи на світильник} \times \frac{\text{люмени}}{\text{лампи}} \times \text{СИ} \times \text{LLF}} = \frac{47 \times 36 \times 30}{1 \times 2900 \times 0,72 \times 0,771} = 31,5 \text{ лм}$$

Архітектурно практична схема розташування цих світильників має включати 32 світильники. Кожне таке устаткування має чотири ряди, кожний довжиною в 32 фт, що складається із восьми світильників у ряд.

Приклад 2. Освітлення невеликого паркінгового простору.

Розглянемо невелику земельну ділянку паркінгу біля офісної будівлі. Ділянка паркінгу вимірюється 100×100 фт і межує з триповерховою офісною будівлею. Бажано тримати висоту обладнання відповідно до архітектурного масштабу будівлі. Необхідно провести аналіз для огляду, якщо один світильник на мачті може суттєво освітити всю ділянку паркінгу. Мачта розташовується в центрі ділянки.

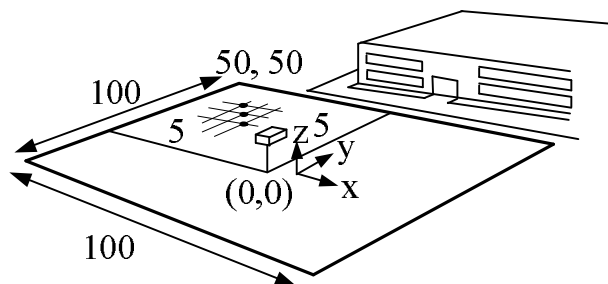


Рисунок 9.2 – Діаграма паркінгової ділянки для прикладу 2

1. Визначити величину, яку необхідно розрахувати.

Діаграма паркінгової ділянки і запропонована освітлювальна система наведена на рисунку 9.2. Щоб оцінити ефективність розташування єдиної мачти, освітленість розраховується в точках 5×5 фт прямокутної сітки тротуарної поверхні. Цей аналіз проводиться за трьома типовими висотами мачти 15, 20 і 25 фт. Критерієм оцінки є рекомендація з освітлення (для освітлення доріг) для низько активних рівнів, для відкритого паркінгового устаткування: мінімальна вертикальна освітленість 0,1 фк мінімальна горизонтальна освітленість 0,2 фк і критерієм однорідності, за якої відношення максимальної до мінімальної освітленості має бути не більше ніж 20:1.

2. Ідентифікувати світильники й описати інформацію про них.

Світильник, який повинен використовуватися під час аналізу, є типу VS, із квадратним розподілом, використовуючи 250 Вт металогалогенну лампу із світловим потоком 20500 лм.

Фотометричні дані є в наявності і подані в таблиці 9.5, як вони повинні бути представлені в фотометричному звіті

3. Визначити, точність, складність і деталі розрахунку. Первинні розрахунки проводять в точках вздовж діагоналі цієї сітки. Передбачається, що осліпленість можливо буде нижчою в кутах паркінгової ділянки, оскільки відстань від світильників є більшою в кутах.

4. Ідентифікувати необхідну геометрію, коефіцієнт відбиття і допоміжні дані.

Необхідні розміри подані на рисунку 9.2.

Для фотометричного звіту виробники часто рекомендують використовувати коефіцієнт повних світлових втрат від їх світильників. У цьому випадку виробник рекомендує коефіцієнт повних світлових втрат 0,85. Коефіцієнт відбиття не є важливим, оскільки розглядається для зовнішнього застосування.

Таблиця 9.5 – Розподіл сили світла світильника паркінгової ділянки для типу А фотометрії

Вертикальний кут	Яскравість (кд) при боковому куті										
	0°	5°	15°	25°	35°	45°	55°	65°	75°	85°	90°
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,0°	2886	2886	2886	2886	2886	2886	2886	2886	2886	2886	2886
2,5°	2879	2887	2887	2904	2921	2929	2946	2954	2954	2954	2963
5,0°	2846	2854	2879	2904	2921	2938	2946	2963	2963	2963	2963
7,5°	2829	2829*	2862	2879	2896	2896	2904	2912	2824	2929	2929
10,0°	2779	2795	2812	2820	2829	2837	2854	2854	2879	2871	2879
12,5°	2745	2745	2762	2779	2779	2795	2812	2837	2846	2854	2845
15,0°	2678	2678	2695	2728	2753	2762	2787	2812	2820	2812	2812
17,5°	2628	2628	2645	2678	2712	2737	2770	2795	2812	2795	2887
20,0°	2578	2578	2603	2636	2870	2712	2779	2837	2854	2829	2804
22,5°	2561	2553	2553	2611	2653	2728	2812	2904	2921	2837	2804
25,0°	2544	2553	2544	2628	2703	2753	2804	28/79	2879	2804	2762
27,5°	2461	2477	2511	2620	2720	2770	2828	2896	2887	2804	2770
30,0°	2427	2435	2461	2611	2720	2812	2904	3021	2963	2829	2812
32,5°	2578	2569	2494	2728	2779	2904	3046	3155	3021	2871	2837
35,0°	2712	2678	2561	2929	2896	3080	3297	3356	3128	3045	2996

Продовження таблиці 9.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37,5°	3046	2921	2653	3122	3063	3406	3599	3691	3373	3306	3339
40,0°	3565	3331	2912	3456	3389	4051	3967	4268	3590	3490	3565
42,5°	3733	3456	3122	3892	3825	4095	4293	4870	3749	3574	3724
45,0°	4118	3599	3189	4067	4101	5030	4729	4812	3984	3833	4109
47,5°	4185	3841	3297	4469	4377	5097	4896	5214	4101	3833	4327
50,0°	3749	3565	3482	4570	4494	5038	4871	5381	4101	3691	4293
52,5°	3314	3094	3465	4327	4243	4829	4845	5281	4385	3716	4770
55,0°	3046	3097	3758	3992	40+3	5088	4888	5842	5136	4067	5164
57,5°	2142	2544	3130	4084	5088	6955	5716	5591	4553	3825	4151
60,0°	1741	2134	2410	3281	4461	5323	4385	4143	3808	3197	3448
62,5°	1490	1942	2260	2820	4076	4235	3716	3348	3908	3021	3557
65,0°	1205	1957	2402	2293	3724	3515	3540	3389	3858	3180	4235
67,5°	1038	1398	2193	2151	3574	4009	4452	3816	4921	3222	4143
70,0°	836	1105	1774	1967	3565	4045	5189	4093	4720	3339	3532
72,5°	619	795	1205	1758	2753	3857	4185	3607	3549	2059	2360
75,0°	418	460	518	1138	2025	3021	3063	1891	2092	1013	1364
77,5°	234	192	200	309	535	10296	1071	594	4930	326	251
80,0°	117	100	108	142	175	184	209	167	108	92	100
82,5°	50	58	80	50	58	66	50	50	41	33	41
85,0°	33	16	41	16	25	160	16	16	16	16	16
87,5°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90,0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примітка: Загальний світловий потік 20 500 лм.

5. Визначити відповідні рівняння.

Найменшою використовуваною висотою монтажу є 15 фт, що більше ніж у 5 разів більшого розміру світильника. Таким чином, правило п'яти разів виконується для будь-якої точки на обчислювальній сітці й світильник можна трактувати як точковий. Закон конуса обернених квадратів може бути використаний для розрахунку освітленості:

$$E = \frac{I(\theta, \psi) \cos \theta}{D^2}$$

Геометрія задачі дозволяє кожен із тригонометричних величин або величин відстані в цьому рівнянні виразити в прямокутних координатах

(рис. 9.2).

$$\theta = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z} \right),$$
$$\psi = \operatorname{arctg} \left(\frac{x}{y} \right),$$
$$\cos \xi = \operatorname{arctg} \left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right),$$
$$D^2 = x^2 + y^2 + z^2.$$

Об'єднуючи це, можна одержати такі вирази для вертикальної і горизонтальної освітленостей, E_H і E_V - відповідно

$$E_H = I(\theta, \psi) \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2) \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}},$$
$$E_V = I(\theta, \psi) \frac{y}{(x^2 + y^2 + z^2) \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}.$$

6. Вирішити рівняння.

Проводиться аналіз у точках сітки вздовж діагоналі. Звертаючись до рисунка 9.2, прямокутні координати можуть бути визначені відносно світильника. Три значення z використовується для кожної пари координат x і y , кожне значення z представляє одну із трьох висот мачти, які повинні бути оцінені. Точка ($x=0$, $y=0$) є прямо під світильником. Точка ($x=50$, $y=50$) є кутом паркінгової ділянки. Значення сили світла одержується лінійною інтерполяцією із таблиці 9.5.

Сила світла і ($\theta=43,3^\circ$, $\psi=45,0^\circ$) установлюється як 3801 кд. Ці результати всіх проміжних обчислень підсумовується в таблиці 9.6. Горизонтальна і вертикальна освітленість в кожній позиції розраховується для кожної з трьох висот мачт.

На відстані 50 фт горизонтальна освітленість біля кута ділянки є нижче 0,2 фк для висоти мачти в 15 або 20 фт. Тільки для висоти мачти в 25 фт зустрічається вимога мінімальної освітленості в 0,2 фк по всій паркінговій ділянці. Ця висота мачти також мінімізує відношення максимальної до мінімальної освітленості по всій паркінговій ділянці, яке потребує максимум відношення, як 20:1 для освітлення доріг. Додатна висота в 25 фт мачти створює мінімальну вертикальну освітленість у 0,26 фк, яка відповідає мінімальній вимозі. Відношення максимуму до мінімуму для висоти мачти в

25 фт розраховується у такий спосіб:

$$\frac{\text{максимум освітленості}}{\text{мінімум освітленості}} = \frac{4,54 \text{ фс}}{0,23 \text{ фс}} = \frac{19,7}{1}$$

Отже, відношення відношення 19,7:1 і відповідає рекомендаціям IESNA для однорідності.

Приклад 3. Розрахунок освітленості в точці. Пряма і перевідбита компоненти.

Цей приклад належить до освітлення класної дошки.

1. Визначити величину, що розраховується.

Величиною, що становить інтерес, є освітленість у точці класної дошки. Вона використовується для визначення, якщо критерій проектної освітленості в 20 фк на класній дошці задовольняється.

Припускається, що точка в центрі дошки є репрезентивною для розрахунків. Місце розташування подано на рисунках 9.3 і 9.4.

Таблиця 9.6 – Проміжні розрахунки для прикладу 2

x(ft)	y(ft)	z(ft)	θ	ψ	I(cd)	D(ft)	E(ft)
1	2	3	4	5	6	7	8
0,0	0,0	15,0	0,0°	0,0°	2885	15,0	12,83
0,0	0,0	20,0	0,0°	0,0°	2886	20,0	7,22
0,0	0,0	25,0	0,0°	0,0°	2886	25,0	4,62
5,0	5,0	15,0	25,2°	45,0°	2754	16,6	9,03
5,0	5,0	20,0	19,5°	45,0°	2717	21,2	5,70
5,0	5,0	25,0	15,8°	45,0°	2754	26,0	3,92
10,0	10,0	15,0	43,3°	45,0°	4802	20,6	8,23
10,0	10,0	20,0	35,3°	45,0°	3119	24,5	4,24
10,0	10,0	25,0	29,5°	45,0°	2804	28,7	2,96
15,0	15,0	15,0	54,7°	45,0°	5057	26,0	4,32
15,0	15,0	20,0	46,7°	45,0°	5076	29,2	4,08
15,0	15,0	25,0	40,3°	45,0°	4128	32,8	2,92
20,0	20,0	15,0	62,1°	45,0°	4409	32,0	2,02
20,0	20,0	20,0	54,7°	45,0°	5057	34,6	2,44
20,0	20,0	25,0	48,5°	45,0°	5073	37,7	2,37
25,0	25,0	15,0	67,0°	45,0°	3910	38,4	1,04
25,0	25,0	20,0	60,5°	45,0°	5105	40,6	1,53

Продовження таблиці 9.6

1	2	3	4	5	6	7	8
25,0	25,0	25,0	54,7°	45,0°	5057	43,3	1,56
30,0	30,0	15,0	70,5°	45,0°	7147	45,0	0,68
30,0	30,0	20,0	64,8°	45,0°	3573	46,9	0,69
30,0	30,0	25,0	59,5°	45,0°	5649	49,2	1,19
35,0	35,0	15,0	73,1°	45,0°	3504	51,7	0,38
35,0	35,0	20,0	68,0°	45,0°	4136	53,4	0,54
35,0	35,0	25,0	63,2°	45,0°	4437	55,5	0,65
40,0	40,0	15,0	75,1°	45,0°	2941	58,5	0,22
40,0	40,0	20,0	70,5°	45,0°	4147	60,0	0,38
40,0	40,0	25,0	66,2°	45,0°	3752	61,8	0,40
45,0	45,0	15,0	76,7°	45,0°	1665	65,4	0,09
45,0	45,0	20,0	72,6°	45,0°	3632	66,7	0,24
45,0	45,0	25,0	68,6°	45,0°	4289	68,4	0,34
50,0	50,0	15,0	78,0°	45,0°	860	72,3	0,03
50,0	50,0	20,0	74,2°	45,0°	3225	73,5	0,16
50,0	50,0	25,0	70,5°	45,0°	4147	75,0	0,25

2. Ідентифікувати світильники і описати інформацію про них. Використовується пара 1×4 фт вбудованих трофферів, кожний з двома Т-12 люмінесцентними лампами Т-12. Повний світловий потік, створюваний єдиним світильником, становить 3791 лм. Розподіл сили світла світильника поданий у таблиці 9.7. У такому вигляді він може з'явитися у фотометричних даних.

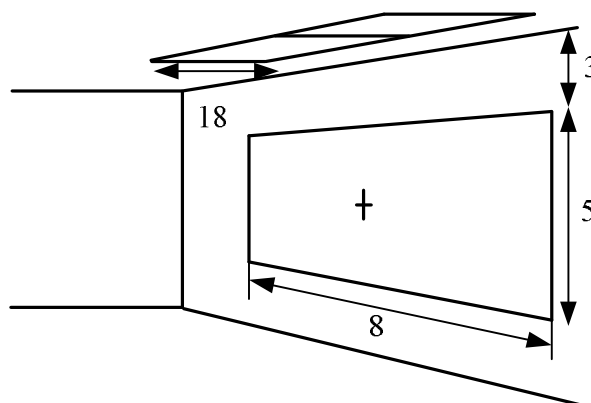


Рисунок 9.3 – Кімнатні розміри для прикладу 3, освітлення дошки

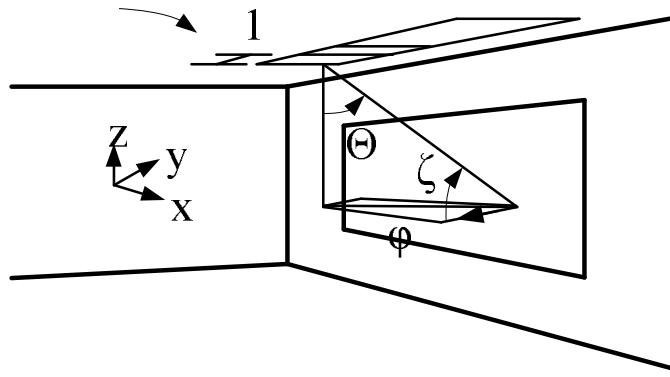


Рисунок 9.4 – Ілюстрація кутів і розмірів для прикладу 3

3. Визначити точність, складність і деталі розрахунків.

Пряма компонента освітленості розраховується від двох світильників. Неможливо трактувати світильники як точкові джерела, оскільки їхні розміри близькі до розмірів класної дошки. Зважаючи на їх конфігурацію, вони розглядаються як лінійні джерела. Таким чином, правило п'яти разів використовується для визначення числа дискретних частин світильника, які мають бути розглянуті. Відстань D від центра одного із світильників до центра класної дошки (рис. 9.3 і 9.4) є

$$D = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \sqrt{2^2 + 1,5^2 + 5,5^2} = 6,04 \text{ фт}$$

Правило п'яти разів потребує, щоб розміри дискретних частин світильника були не більше, ніж $6,04/5 = 1,2$ фт. Оскільки світильники мають приблизно розміри 1×4 фт, кожний може бути дискретизованим на чотири секції в 1 фт^2 . Припускається, що кожна дискретна частина світильника випромінює 25 % світлового потоку світильника. Таким чином, кожна має розподіл сили світла рівний 25 % того, що має світильник.

Компонента перевідбиття визначається використанням середньої освітленості перевідбиття по всій класній дошці, оскільки зміна середньої освітленості перевідбиття ймовірно має бути малою. Вважається, що принциповим є перевідбиття між класною дошкою і частиною ближньої стелі. Підлога з великою ймовірністю має низький коефіцієнт відбиття й ігнорується для цілей розрахунку компоненти перевідбиття. Інші стіни вважаються суттєво далекими від класної дошки і вносять нехтуючий внесок до компоненти перевідбиття. Зазначимо, що світильники в кімнаті інші, ніж ті, які використовуються для прямого освітлення класної дошки, можуть також створювати пряму і перевідбиту освітленість на класній дошці. Інші джерела освітлення не розглядаються на цьому прикладі.

Таблиця 9.7 – Розподіл сили світла світильника класу

Кут θ	Яскравість		
	$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 45^\circ$	$\varphi = 90^\circ$
0°	1531	1531	1531
5°	1440	1554	1547
15°	1357	1495	1523
25°	1238	1401	1519
35°	1072	1331	1652
45°	852	1242	1259
55°	586	771	612
65°	155	205	216
75°	26	31	26
85°	4	13	9
90°	0	0	0

4. Ідентифікувати необхідні геометричні відбиваючі і допоміжні дані
Коефіцієнт відбиття класної дошки $\rho_1 = 0,25$. Коефіцієнт відбиття стелі $\rho_2 = 0,80$. Необхідні кімнатні розміри показано на рисунку 9.3.

5. Визначити відповідні рівняння.

Пряма компонента. Дискретні частини світильника є достатньо малими для того, щоб застосувати закон обернених квадратів для кожної із восьми частин (два чотири футові світильника, кожний поділений на однофутові частини) і освітленості (обчислені, використовуючи рівняння 4) додаються разом, що одержати повну освітленість

$$E = \sum_{i=1}^8 \frac{I_i \cos \xi}{D_i^2},$$

де I_i – сила світла i -ї частини в напрямку центра класної дошки;

ξ – кут між нормаллю до поверхні класної дошки і лінією від i -ю частиною до центра класної дошки;

D_i – відстань між центром класної дошки і i -ю частиною.

Компонента перевідбиття. Загальне рівняння для освітленості перевідбиття між двома дифузними поверхнями, заснованому на рівнянні 23а:

$$\bar{E}_{\text{inter}} = \frac{\bar{E}_{1 \text{ dir}} + \bar{E}_{2 \text{ dir}} f_{1 \rightarrow 2}}{1 - \rho_1 \rho_2 f_{1 \rightarrow 2} f_{2 \rightarrow 1}} - \bar{E}_{i \text{ dir}},$$

де $E_{1 \text{ dir}}$ – пряма освітленість на поверхні 1;

$E_{2\text{ dir}}$ – пряма освітленість на поверхні 2;

$f_{1\rightarrow 2}$ – форм-фактор радіаційного обміну від поверхні 1 до поверхні 2;

$f_{2\rightarrow 1}$ – форм-фактор радіаційного обміну від поверхні 2 до поверхні 1;

ρ_1, ρ_2 – дифузні коефіцієнти відбиття поверхні 1 і 2.

У поданому застосуванні поверхня 1 це класна дошка, а поверхня 2 – стеля біля класної дошки. У цьому випадку тільки класна дошка має початкову освітленість, і загальне рівняння стає

$$\bar{E}_{\text{inter}} = \frac{\bar{E}_{\text{dir}}}{1 - \rho_{\text{cb}} \rho_{\text{c}} f_{\text{cb} \rightarrow \text{c}} f_{\text{c} \rightarrow \text{cb}}} - \bar{E}_{\text{dir}},$$

де \bar{E}_{dir} – пряма освітленість на класній дошці;

$f_{\text{cb} \rightarrow \text{c}}$ – форм-фактор радіаційного обміну між класною дошкою (св) і стелею (с);

$f_{\text{c} \rightarrow \text{cb}}$ – форм-фактор радіаційного обміну між стелею (с) (св) і класною дошкою;

$\rho_{\text{cb}}, \rho_{\text{c}}$ – дифузні коефіцієнти відбиття класної дошки і стелі.

6. Вирішити рівняння.

Пряма компонента. Проміжні величини, які необхідні для розрахунку прямої компоненти освітленості, подані нижче і в таблиці 9.8.

$$D_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2},$$

$$\theta_i = \arccos\left(\frac{z_i}{D_i}\right),$$

$$\psi_i = \arctg\left(\frac{y_i}{x_i}\right),$$

$$\cos \xi = \left(\frac{y_i}{D_i}\right).$$

Кут ψ вимірюється від осі лампи світильника. Площина даних, відповідає значенню нуля для цього кута, ідентифікується як «вздовж» у таблиці 9.7. Сила світла для кутів на між 0 і 90° отримується, як зазначалося вище. Від’ємні кути можуть бути перетворені в позитивні кути додаванням 360° Сила світла лінійно інтерполуються із даних розподілу сили світла в таблиці 9.7 і ділиться на 4 унаслідок дискретизації кожного світильника на чотири частини. Всі розраховані значення для кожної із восьми частин світильника подані в таблиці 9.8. Повна пряма освітленість тоді є сумою часткових освітленостей у стовпці таблиці, або 18,5 фк.

Таблиця 9.8 – Проміжні розрахунки для Приклада 3

Частина світильника	x_i	y_i	z_i	D_i	$\cos \xi_i$	θ_i	ψ_i	l_i	E_i
1	-3,5	1,5	5,5	6,69	0,224	34,7°	-23,2°	302	1,51
2	-2,5	1,5	5,5	6,22	0,241	27,8°	-31,0°	331	2,06
3	-1,5	1,5	5,5	5,89	0,255	21,0°	-45,0°	360	2,65
4	-0,5	1,5	5,5	5,72	0,262	15,9°	-71,6°	377	3,02
5	0,5	1,5	5,5	5,72	0,62	15,9°	71,6°	377	3,02
6	1,5	1,5	5,5	5,89	0,255	21,0°	45,0°	360	2,65
7	2,5	1,5	5,5	6,22	0,241	27,8°	31,0°	331	2,06
8	3,5	1,5	5,5	6,69	0,224	34,7°	23,2°	302	1,51

Компонента перевідбиття. Як показано вище, цей розрахунок потребує початкової середньої освітленості на класній дошці. Для мети розрахунку компоненти перевідбиття припускається та сама середня освітленість на повній стіні. Ця середня освітленість може бути розрахована із відношення (світловий потік світильників, що падає на класну дошку / поверхня стіни класної дошки).

Світильники мають розподіл сили світла, який є симетричним як вздовж, так і поперек вісей ламп, і змонтований близько до стінки класної дошки. Таким чином, можна вважати, що приблизно 50 % світлового потоку світильника досягає цієї поверхні прямо. Для кожного світильника 50 % від 3 791 або 1895,5 лм досягає стінки класної дошки прямо. Оскільки є два світильники, повний потік, що падає на стінку класної дошки, має бути 3791 лм. Поверхня стінки класної дошки становить 64 фт² (8×8 фт). Таким чином,

$$\bar{E}_{dir} = \frac{\text{падаючий потік}}{\text{поверхня}} = \frac{3791 \text{ лм}}{64 \text{ фт}^2} = 59 \text{ фк}$$

Рішення для компоненти перевідбиття дає:

$$\bar{E}_{inter} = \frac{\bar{E}_{dir}}{1 - \rho_{cb} \rho_c f_{c \rightarrow cb} f_{c \rightarrow cb}} - \bar{E}_{dir}$$

де \bar{A}_{dir} , $\rho_{\bar{n}a}$, $\rho_{\bar{n}}$ були попередньо визначені і $f_{\bar{n}a \rightarrow c}$ і $f_{\bar{n} \rightarrow ca}$ обидва припускаються такими, що дорівнюють 0,2. Унаслідок цього $\bar{A}_{inter} = 0,5$ фк. Повна освітленість у точці тоді

$$E = \bar{E}_{dir} + \bar{E}_{inter} = 18,5 \text{ фк} + 0,5 \text{ фк} = 19 \text{ фк}$$

Одержана точність (яка є не краще ніж 5 %, як обговорювалось в опису алгоритму вище), розрахованої освітленості в 19 фт може або не може, задовольнити встановленому проектному критерію в 20 фт. Подальший аналіз із погляду проектанта, є можливо необхідний в цьому граничному випадку.

Зазначимо, що компонента перевідбиття є суттєво меншою, ніж пряма компонента. Завдяки цьому більш ретельний розрахунок на компоненти перевідбиття, які продукуються цими світильниками, не потребується.

Приклад 4. Розрахунок освітлення в точці від поверхневого джерела.

Тільки Пряма Компонента.

Цей приклад адресується класній кімнаті. Денному світлу в маленькій класній кімнаті.

1. Визначити величину, яка повинна розраховуватися.

Величина, яка становить інтерес, є пряма компонента освітленості точки на дошці в маленькій класній кімнаті. Точка, розрахунку є центр кімнати на 2,5 фт висоти. Кімната є розміром 28x28 фт з висотою від стелі до підлоги в 10 фт. Вона має коефіцієнт відбиття стелі 0,8, коефіцієнт відбиття стіни 0,46, і коефіцієнт відбиття підлоги 0,2.

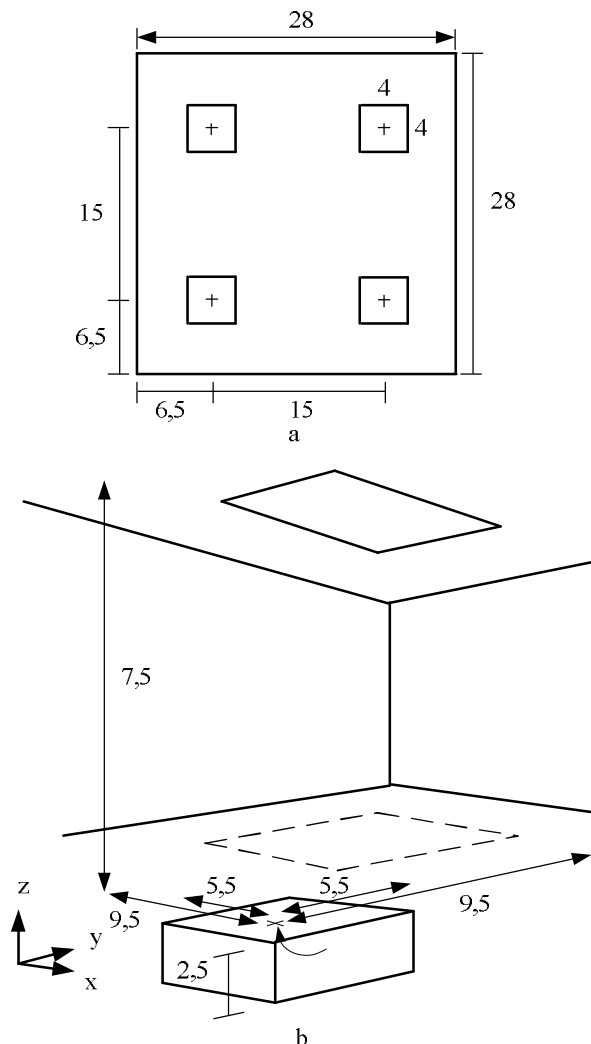


Рисунок 9.5 – Класна кімната і світильник денного світла для прикладів 4 і 5:

а) план; б) перспектива

2. Ідентифікувати джерела і описувану інформацію про них.

Кімната освітлюється чотирма банястими світильниками денного світла, як показано на рисунку 9.5. Кожний світильник денного світла зроблений із пластика, так що дифузний коефіцієнт пропускання досягає 0,15 для світла, що падає перпендикулярно до поверхні. Для світла, падаючого під іншим кутом, коефіцієнт пропускання є дифузним, однак значення є зменшеним. Цей дифузний направлений коефіцієнт пропускання дається рівнянням $T(\theta) = 0,15 \cos^2 \theta$, де θ є кутом падіння. Це рівняння використовується для прямого сонячного внеску. Загальний дифузний коефіцієнт пропускання T для світла, падаючого рівно від всіх напрямків, є 0,10.

3. Визначити точність і складність.

Пряма компонента розраховується від світильника денного світла, припускаючи, що вони є дифузними поверхневими джерелами. Використовується рівняння для освітленості, створюваної дифузним поверхневим джерелом (9).

Це рівняння потребує світності джерела, яке в цьому випадку є світністю світильника денного світла. Ця світність продукується сонячним світлом і стельовим світлом, пропущеним крізь купол світильника денного світла. Оскільки світильник денного світла є банястим, коефіцієнт пропускання є майже незалежним від напрямку, з якого світло досягає світильники денного світла. Це не могло б бути правильним, якщо світильник денного світла був пласким. Банясті світильники денного світла досягають зміни коефіцієнта пропускання завдяки стоншенню матеріалу при вершині бані. Вплив банясних світильників денного світла визначається оцінюванням зміни коефіцієнта пропускання.

Освітленість, продукована світильником денного світла, є функцією їхньої світності, яка, зі свого боку, є функцією освітленості завдяки денному світлу на них і їх коефіцієнта пропускання. Положення сонця впливає на обидві ці величини. Таким чином, розрахунки мають бути виконані за специфічних даних, часу і хмарових умов. Розрахунки для перевідбитої компоненти подано на прикладі 5.

4. Ідентифікація необхідних геометричних коефіцієнтів, коефіцієнт відбиття і допоміжні дані.

Дані і час для розрахунку прикладу: квітень 10 і 12 годин для міста Денвера, штат Колорадо. Умова хмарності: припускається ясною. Можлива горизонтальна освітленість – $E_{\text{sum}} = 9150$ фк і $E_{\text{sky}} = 1400$ фк. Сонячна висота для цих умов – $57,5^\circ$, так що сонце є $32,5^\circ$ від зеніта.

5. Визначити відповідні рівняння.

Рівняння для освітленості, продукованої дифузним поверхневим джерелом, становить $E = Mc$, де M – є дифузна світність джерела і c – коефіцієнт конфігурації для поверхні до точки. У цьому випадку коефіцієнт конфігурації для прямокутника до точки в площині, паралельній площині прямокутника.

Загальне рівняння, виходячи з рисунка 1.3, становить

$$c = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 F(x_i, y_j) (-1)^{i+j},$$

$$\text{де } F(x_i, y_j) = \frac{x_i}{\sqrt{x_i^2 + z^2}} \arctg\left(\frac{y_j}{\sqrt{x_i^2 + z^2}}\right) + \frac{y_j}{\sqrt{y_j^2 + z^2}} \arctg\left(\frac{x_i}{\sqrt{y_j^2 + z^2}}\right),$$

де x_i – відстань від точки розрахунку до i -го ребра прямокутного джерела в x напрямку,

y_j – відстань від точки обчислення до j -го ребра прямокутного джерела в y напрямку,

z – відстань між площиною, що вміщує точку розрахунку, і площею джерела.

Оскільки маємо більше, ніж одне дифузне поверхнєве джерело, повна пряма компонента освітленості буде:

$$E = \sum_{i=1}^4 M_i c_i$$

Усі чотири світильники денного світла мають одні і ті самі характеристики пропускання, а їх схожість означає, що вони мають ті ж самі небесну і сонячну освітленість. Отже, вони досягають ту саму світність. Це дає

$$E = M \sum_{i=1}^4 c_i$$

У поданому прикладі точка розрахунку є центром кімнати і, таким чином, симетрично розташована відносно світильника денного світла і чотири коефіцієнти конфігурації є тими самими.

Освітленість тоді є $E = 4Mc$.

Світність M світильника денного світла в середині кімнати є:

$$M = E_{\text{sun}} T_{\text{net}} + E_{\text{sky}} T,$$

де E_{sun} – горизонтальна освітленість, продукована сонцем;

E_{sky} – горизонтальна освітленість, продукована небом;

T_{net} – чисто направлений коефіцієнт пропускання світильника денного світла;

T – повний дифузний коефіцієнт пропускання світильника денного світла.

Рівняння для чисто направленного коефіцієнта пропускання баястого світильника денного світла для направленного світла (тобто від сонця) є $T_{\text{net}} = 1,25 T(0) [1,18 - 0,4167 T(0)]$, де $T(0)$ є дифузний коефіцієнт пропускання для світла, падаючого перпендикулярно до поверхні пластини.

6. Рішення рівняння.

Коефіцієнт пропускання світильника денного світла є $T_{\text{net}} = 1,25 (0,15) [1,18 - 0,4167 (0,15)] = 0,210$.

Світність світильника денного світла M є $M = (9150)(0,210) + (1400)(0,10) = 2057 \text{ лм/фт}^2$.

Коефіцієнт конфігурації від одного із світильників денного світла до точки розраховується із рівняння, поданого вище на кроці 5. Включені відстані є $x_1 = 5 \text{ фт}$, $x_2 = 9,5 \text{ фт}$, $y_1 = 5,5 \text{ фт}$, $y_2 = 9,5 \text{ фт}$ і $z = 7,5 \text{ фт}$. Результуючий коефіцієнт конфігурації c є $0,0104$.

Освітленість в обчислювальній точці від чотирьох світильників денного світла є $E = 4Mc = 4(2057)(0,0104) = 85,5 \text{ фк}$. Таким чином, за ясної небесної умови в 12 год 10 квітня в м. Денвері чотири світильники денного світла продукують пряму освітленість у 86 фк на дошці в середині кімнати.

Приклад 5. Розрахунок освітленості в точці від поверхневого джерела. Компонента перевідбиття. Приклад також адресується світильнику денного світла.

1. Визначити величину, яку необхідно розрахувати.

Величиною, яка становить інтерес, є компонента перевідбиття освітленості в точці на дошці в невеликій класній кімнаті. Пряма компонента освітленості була обчислена в прикладі 4 і дорівнює 86 фк. Точка обчислення та сама, що і для прикладу 4: у центрі кімнати на дошці 2,5 фт вище над підлогою. Кімната $28 \times 28 \text{ фт}$ з висотою від підлоги до стелі 10 фт. Вона має коефіцієнт відбиття для стелі 0,80. Коефіцієнт відбиття стіни 0,46 і коефіцієнт відбиття підлоги 0,20.

2. Ідентифікувати джерела і описати інформацію про них. Кімната освітлюється поряд у чотири ліхтаря денного світла, як показано на рисунку 9.5. Світильники денного світла описані в прикладі 4.

3. Визначити точність і складність. Компонента перевідбиття, зумовлена світильниками денного світла, розраховується в припущенні, що

вони є дифузними поверхневими джерелами. Перевідбиття в кімнаті, можливо, утворюють світності однорідних кімнатних поверхонь так, що використовується проста трьохповерхнева модель переносу випромінення. Таким чином, стеля і підлога, кожна із яких трактується як окремі поверхні і чотири стіни, групуються разом і трактуються як третя поверхня. Обчислюючи перевідбиття світла, результують у просту фінальну світність для підлоги, стін і підлоги.

Стеля і стіни тоді трактуються як дифузні поверхні джерела, і освітленість, яку вони продукують в обчислювальній точці, є компонентою перевідбиття. Використовується рівняння для освітленості, створюваної дифузним поверхневим джерелом.

4. Ідентифікація необхідних геометричних коефіцієнта відбиття і допоміжних даних.

Дані і час прикладу обчислень: 10 квітня, 12 година дня, м. Денвер, штат Колорадо.

Умова неба (хмарність) вважаються ясними. Горизонтальна освітленість, яка є насправді, $E_{\text{sun}} = 9150 \text{ фк}$ і $E_{\text{sky}} = 1400 \text{ фк}$. Дані по коефіцієнтам відбиття описані вище в кроці 1.

5. Визначити необхідні рівняння.

Рівняння 24 через 26 визначає перевідбиття трьохповерхневої моделі. Первинні світності M_{oc} , M_{ow} і M_{af} визначаються із

$$M = \frac{\Phi_{\text{онто}} \cdot \rho}{\text{поверхня}},$$

де $\Phi_{\text{онто}}$ є, у цьому випадку, потік прямо від світильника денного світла на поверхню.

Три одночасних рівняння можуть тоді бути вирішеними для фінальних світностей M_c , M_w і M_f . Нарешті, освітленість створена на дошці стелею і стінами, обчислюється із

$$E = M_c c_{c \rightarrow p} + M_w c_{p \rightarrow w},$$

де $c_{c \rightarrow p}$ – коефіцієнт конфігурації від стелі до точки;

$c_{p \rightarrow w}$ – коефіцієнт конфігурації від стелі до точки.

У цьому випадку коефіцієнт конфігурації є для прямокутника до точки в площині, паралельній площині прямокутника. Це рівняння знаходять із рисунка 1.3.

Оскільки сума форм-факторів від усіх поверхонь, у яких міститься точка, є 1, 0

$$c_{p \rightarrow w} = 1 - c_{c \rightarrow p}.$$

6. Вирішити рівняння.

Форм-фактор радіаційного обміну між підлогою і стелею $f_{f \rightarrow c}$ обчислюється із використанням рисунка 1.5. Підставляючи розміри, визначені на кроці 1, у відповідне рівняння, визначають, що $f_{f \rightarrow c} = 0,52571$.

Тепер використовується співвідношення між іншими форм-факторами (від 28 через 31)

$$f_{c \rightarrow f} = f_{f \rightarrow c} = 0,52571,$$

$$f_{c \rightarrow w} = f_{f \rightarrow w} = 1 - f_{c \rightarrow f} = 0,47429,$$

$$f_{w \rightarrow c} = f_{w \rightarrow f} = \frac{A_c}{A_w} (1 - f_{c \rightarrow f}) = 0,33200,$$

$$f_{w \rightarrow w} = 1 - 2f_{w \rightarrow c} = 0,33599,$$

де A_c є поверхня стелі і A_w є поверхня стін. Рівняння для M_c , M_w і M_f стають

$$M_c = M_{0c} + 0,80(M_w 0,47429 + M_f 0,52571),$$

$$M_w = M_{0w} + 0,46(M_c 0,33200 + M_w 0,33599 + M_f 0,33200),$$

$$M_f = M_{0f} + 0,20(M_c 0,52571 + M_w 0,47429)$$

Первинна світність стелі, M_{0c} , це нуль, оскільки світильники денного освітлення не можуть прямо освітлювати підлоги, $M_{0c} = 0,0$. Первинна світність підлоги M_{0f} дається

$$M_{0f} = \frac{\Phi_{\text{skylights} \rightarrow \text{floor}} - \rho_f}{A_f},$$

де $\Phi_{\text{skylights} \rightarrow \text{floor}}$ – потік, випромінюваний світильниками денного світла, що досягає підлоги прямо.

A_f – поверхня підлоги.

Потік від світильників денного світла до підлоги обчислюється із повного потоку, що полишає світильники, і форм-факторів радіаційного обміну від світильників до підлоги.

$$\Phi_{\text{skylights} \rightarrow \text{floor}} = \sum_{i=1}^4 \Phi_{\text{skylights}} f_{\text{skylights} \rightarrow \text{floor}}$$

Підсумовування проводиться за чотирма світильниками денного світла в кімнаті. Оскільки ліхтарі є ідентичними і розташовані симетрично відносно обчислювальної точки і в центрі кімнати, кожний випромінює однакову

кількість люменів і форм-фактори від кожного ліхтаря ідентичні. Таким чином,

$$\Phi_{\text{skylights} \rightarrow \text{floor}} = 4 \Phi_{\text{skylight}} \cdot f_{\text{skylights} \rightarrow \text{floor}},$$

$\Phi_{\text{skylights}}$ обчислюється із

$$\Phi_{\text{skylights}} = M_{\text{skylight}} A_{\text{skylight}}.$$

Таким чином,

$$M_{\text{of}} = \frac{4 M_{\text{sky light}} A_{\text{sky lights}} f_{\text{sky lights} \rightarrow \text{floor}} \cdot \rho_f}{A_f}.$$

Світність ліхтаря M_{skylight} , як розраховувалась на прикладі 4, є 2057 лм/фт². Форм-фактор радіаційного обміну від ліхтаря до підлоги розраховується від відповідного рівняння на рисунку 1.6. Результируюче значення $f_{\text{skylights} \rightarrow \text{floor}}$ є 0,556. Вирішуючи для M_{of} , тоді ми маємо:

$$M_{\text{of}} = \frac{4(2057)(16)(0,556)(0,20)}{(28)(28)} = 18,7 \text{ лм/фт}^2.$$

Первинна світність стіни трактується подібним чином:

$$M_{\text{ow}} = \frac{4 M_{\text{sky light}} A_{\text{sky lights}} f_{\text{sky lights} \rightarrow \text{walls}} \cdot \rho_w}{A_w},$$

Форм-фактор радіаційного обміну від ліхтаря до стін знаходять із міркувань, що потік, випромінюваний ліхтарем, який не досягає підлоги, повинен досягати стін

$$f_{\text{skylights} \rightarrow \text{walls}} = 1 - f_{\text{skylights} \rightarrow \text{floor}} = 1 - 0,556 = 0,444$$

$$M = \frac{4(2057)(16)(0,444)(0,50)}{(4)(28)(10)} = 26,1 \text{ лм/фт}^2$$

Із цими трьома значеннями первинної освітленості, одночасно три рівняння стають

$$M_w = 26,1 + M_c 0,15372 + M_w 0,15556 + M_f 0,15372$$

$$M_f = 18,7 + M_c 0,10514 + M_w 0,09486$$

$$M_c = 0,0 + M_w 0,37943 + M_f 0,42057.$$

Рішення цих трьох рівнянь дає

$$M_c = 25,87 \text{ лм/фт}^2, M_w = 40,21 \text{ лм/фт}^2 \text{ і } M_f = 25,23 \text{ лм/фт}^2.$$

Коефіцієнт конфігурації від обчислювальної точки до стелі, $c_{c \rightarrow p}$, обчислюється, як описано на рисунку 1.2. Його значення є 0,811. Коефіцієнт конфігурації від обчислювальної точки до стін, $c_{p \rightarrow w}$, дорівнює

$1,0 - c_{c \rightarrow p} = 0,189$. Нарешті, знаходячи для освітленості перевідбиття E , ми маємо

$$E = M_c c_{c \rightarrow p} + M_w c_{p \rightarrow w} = 25,87(0,811) + 40,21(0,189) = 28,76 \text{ фк}$$

Сума прямої (від приклада 4) компоненти і компоненти перевідбиття освітленості є

$$E_{\text{total}} = 86 + 28,76 = 115 \text{ фк}$$

Таким чином, розрахунок значення для освітленості є для прописаних часу, місця і неба.

Приклад 6. Розрахунок яскравостей, створених точковим джерелом. Цей приклад ілюструє аналіз задачі освітлення стола. Невеликий настільний світильник використовується для освітлення столів у робочих приміщеннях (рис. 9.6).

1. Визначити величину, яка повинна обчислюватись. Аналіз характеристик задачі світла на столі складається, зокрема в визначенні яскравості частини білої паперу.

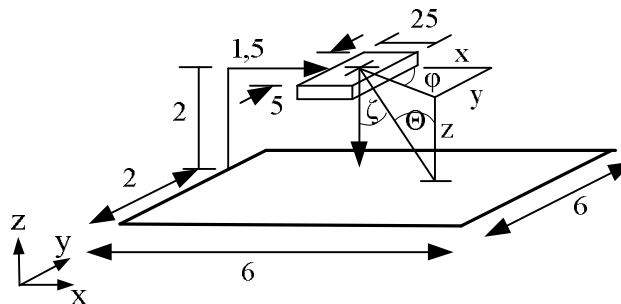


Рисунок 9.6 – План стола для прикладу 6

2. Ідентифікувати світильники й описати інформацію про них.

Світильник, що використовується, є єдиною 13 Вт компактною люмінесцентною лампою з рефлектором, яка створює дуже направлений розподіл сили світла. Світильник із довжиною 3 дм і знаходиться на висоті 1,5 м. Він монтується на пересувному плечі, що дає йому змогу бути розташованим в стороні стола. Фотометричні дані подані в таблиці 9.9.

Таблиця 9.9 – Розподіл сили світла настільного світильника

Поворотний кут	Яскравість (кд) при азимутальному куті ψ				
	0,0°	22,5°	45,0°	67,5°	90,0°
1	2	3	4	5	6
0°	450	450	450	450	450
5°	453	457	453	445	442

Продовження таблиці 9.9

1	2	3	4	5	6
15°	437	416	450	454	451
25°	406	422	447	470	478
35°	362	391	443	407	523
45°	302	350	448	551	592
55°	233	310	474	624	678
65°	158	284	505	651	691
75°	81	263	432	529	559
85°	20	134	178	102	193
90°	1	5	5	8	10

3. Визначити точність, складність і деталі обчислень

Яскравість паперу припускається дифузною, і тому що обчислення потребують тільки визначення освітленості і вимірювань дифузного коефіцієнту відбиття паперу.

Як подано на рисунку 9.6, плече світильника монтується на стороні стола, чий розмір 6×3 фт. Світильник розташований на висоті 2 фт над поверхнею стола 1,5 фт зліва від центру стола і 2 фт від його передньої частини. Відстань від центру світильника до центру стола дається

$$D = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \sqrt{1,5^2 + 0,5^2 + 2^2} = 2,55 \text{ фт}$$

Ця відстань є більшою, ніж у 5 разів максимального світлового розміру світильника (0,5 фт) так, що може бути використаний закон косинуса обернених квадратів для освітленості від точкового джерела.

4. Ідентифікація необхідних геометричних коефіцієнтів відбиття і допоміжні дані.

Геометричні розміри подані на рисунку 9.6, білий папір є дифузною відбиваючим об'єктом із коефіцієнтом відбиття $\rho=0,83$.

5. Визначити необхідні рівняння.

Яскравість (L) дифузною відбиваючої поверхні визначається такою формулою

$$L = \frac{M}{\pi} = \frac{\rho_{\text{paper}} E}{\pi}.$$

Освітленість центру стола визначається

$$E = \frac{I(\Theta, \psi) \cos \Theta}{D^2}.$$

Дані про розподіл сили світла подані в таблиці 9.9. Кути, необхідні для визначення сили світла, обчислюються із геометричних принципів у такий спосіб:

$$\Theta = \arctg\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right),$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{y}{x}\right),$$

$$\zeta = \arctg\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right).$$

6. Рішення рівняння.

По-перше, обчислюється освітленість, створювана світильником. Використовуючи розміри в рисунку 9.6,

$$\Theta = \arctg\left(\frac{\sqrt{1,5^2 + 0,5^2}}{2}\right) = 38,3^\circ,$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{0,5}{1,5}\right) = 18,4^\circ$$

Лінійно інтерполюючи в таблиці сили світла (рис. 52), сила світла при $(\Theta = 38,8^\circ, \psi = 18,4^\circ)$ має значення 356 кд.

Кут падінні визначається

$$\zeta = \arctg\left(\frac{\sqrt{1,5^2 + 0,5^2}}{2}\right) = 38,3^\circ$$

Освітленість E обчислюється у такий спосіб:

$$E = \frac{I(\Theta, \psi) \cos \Theta}{D^2} = \frac{356 \cos(38,3^\circ)}{1,5^2 + 0,5^2 + 2^2} = 429 \text{ фк}$$

Яскравість паперу становить:

$$L = \frac{\rho_{\text{paper}} E}{\pi} = \frac{(0,83)(429)}{\pi} = 114 \text{ кд/фт}^2$$

7. Обчислення контрасту, створеного на печатному матеріалі.

Цей приклад також ілюструє аналіз завдання освітлення на столі. Невеликий настільний світильник використовується для освітлювального завдання стола у виділеному приміщенні.

1. Визначити обчислювальну величину.

Аналіз характеристик освітлювальної задачі на столі полягає, зокрема, у визначеній візуальної задачі контрасту, який створюється на горизонтальній поверхні стола. Контраст, що визначається, є таким, як для чорного шрифту на білому глянцевою папері, що використовують в журналах і газетах.

2. Ідентифікувати світильники і описати інформацію про них.

Для цього прикладу використовується той самий світильник, що був і у прикладі 6. Розподіл сили світла поданий в таблиці 9.9.

3. Визначити точність, складність і деталі обчислення.

Обчислювальний контраст потребує визначення яскравості обох завдань та його фону. Вважається, що ні папір, ні друкарська фарба не мають дифузні коефіцієнти відбиття для цього прикладу. Таким чином, обчислення цих яскравостей потребує обох: освітленості і бінаправленої функції розподілу коефіцієнта відбиття (BRDF) завдання і його фону.

Схема розташування завдання подана на рисунку 9.7. Відстань від завдання (у центрі стола), до центру світильника є 2,55 фт (як обчислено в прикладі 6), яка більше ніж у 5 разів максимального розміру світильника. Отже, у цьому випадку справедливий косинусний закон обернених квадратів.

4. Ідентифікувати необхідні геометричні відбивальні і допоміжні дані. Необхідні розміри показані на рисунку 9.7. BRDF для паперу і друкарської фарби подані в таблицях 9.10 і 9.11 для типового кута спостереження в 10° від вертикалі. Нерегулярне розташування азимутального і медіального кутів у таблицях BRDF відбиває ступінь дзеркальності для матеріалу. Коли кути розташовані близько разом, BRDF є більш чутливим до малих змін у цих кутах.

5. Визначити відповідні рівняння.

Контраст яскравості C завдання дається виразом

$$C = \frac{|L_b - L_t|}{L_b},$$

де L_b – яскравість фону;

L_t – яскравість цілі.

У цьому разі даються яскравості від недифузних відбиваючих поверхонь. Яскравість не дифузної відбиваючої поверхні освітленої неполяризованим джерелом, як описувалось раніше, є

$$L(\Theta_v) = \sum_i \sum_j E(\Theta_i, \psi_j) f(\Theta_v, \Theta_i, \psi_j),$$

де Θ_v – кут, спостереження в цьому прикладі 10° ;

Θ_i – кут падіння;

ψ_j – азимутальний кут падіння, виміряний від площини, що вміщує напрямок погляду і даний кут $\psi_j = 90 + \arctg(y/x)$.

Підсумовування проводиться за всіма дискретними значеннями освітленості.

Кількість дискретних кроків визначає точність наближення. Розмір кроку в цих наближеннях визначається необхідністю мати модель високих градієнтів або освітленості, або BRDF. У даному випадку найбільший кут підвищення, що охоплює світильник до обчислювальної точки, є $6,9^\circ$ і найбільший азимутальний кут, що охоплює світильник, є $19,9^\circ$. Кути падіння – азимутальний і підвищення від центру світильника – використовуються для визначення області BRDF, що використовується. Дослідження цієї області виявляє, чи є необхідність дискретизації для освітлювального поля, яке вимірює $6,9 \times 19,9^\circ$

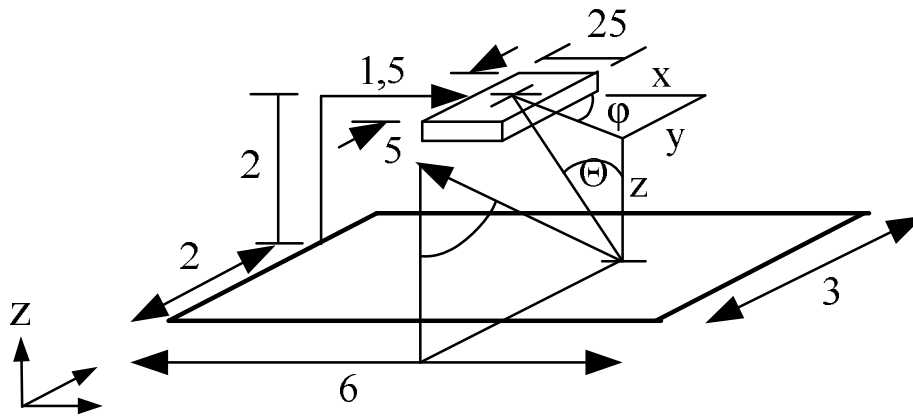


Рисунок 9.7 – Креслення настільної лампи для прикладу 7

6. Рішення рівняння.

Освітленість у центрі стола є 42,9 фт, як подано на прикладі 6. Яскравості робочого завдання і фону потребують визначення BRDFs папіра і друкарської фарби за визначених кутах падіння $\psi_i = 90^\circ + \arctg(1,5/0,5) = 161,5^\circ$. Кут падіння підвищення визначений як $38,3$ у прикладі 6. Одержані кут спостереження в 10° , таблиці BRDF у таблицях 9.10 і 9.11 для паперу і шрифту інтерполюються, щоб одержати значення

$$f_{ink}(10^\circ, 38,3^\circ, 161,5^\circ) = 0,0001$$

$$i f_{paper}(10^\circ, 38,3^\circ, 161,5^\circ) = 0,2182$$

Таблиця 9.10 – Часткова функція розподілу коефіцієнта відбиття для білого паперу

Азимут	BRDF					
	24°	28°	34°	44°	52°	60°
0°	0,226	0,221	0,215	0,216	0,205	0,194
130°	0,240	0,226	0,220	0,217	0,208	0,197
150°	0,249	0,231	0,224	0,214	0,208	0,196
160°	0,252	0,231	0,221	0,214	0,208	0,196
170°	0,253	0,233	0,222	0,216	0,212	0,196
176°	0,250	0,234	0,223	0,216	0,206	0,197
177°	0,261	0,235	0,224	0,217	0,205	0,198
178°	0,262	0,236	0,223	0,218	0,211	0,198
179°	0,263	0,235	0,223	0,219	0,2313	0,200
180°	0,363	0,234	0,222	0,219	0,210	0,193

Таблиця 9.11 – Дані часткової BRDF для чорної друкарської фарби

Азимут	BRDF					
	24°	28°	36°	44°	52°	60°
0°	0,004	0,003	0,002	0,001	0,000	0,000
130°	0,013	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
150°	0,034	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
160°	0,056	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
170°	0,089	0,015	0,001	0,000	0,000	0,000
176°	0,109	0,018	0,001	0,000	0,000	0,000
177°	0,111	0,019	0,001	0,000	0,000	0,000
178°	0,113	0,019	0,002	0,000	0,000	0,000
179°	0,116	0,020	0,002	0,000	0,000	0,000
180°	0,118	0,020	0,002	0,000	0,000	0,000

Одиниці BRDF є оберненими стерadianами (sr^{-1}). Яскравість друку в точці обчислення, тоді $L_{\text{ink}} = E(\Theta_i, \psi_j) f(\Theta_v, \Theta_i, \psi_j) = (42,9 \text{ фк})(0,0001 \text{ sr}^{-1}) = 0,0043 \text{ кд/фт}^2$. Яскравість паперу в обчислювальній точці є $L_{\text{paper}} = E(\Theta_i, \psi_j) f_r(\Theta_v, \Theta_i, \psi_j) = (42,9 \text{ фк})(0,2182 \text{ sr}^{-1}) = 9,36 \text{ кд/фт}^2$. Контраст яскравості робочого завдань і фону тоді становить

$$C = \frac{|9,36 - 0,00341|}{9,36} = 0,999.$$

Обчислення контрасту для крайніх азимутального підвищення кутів, стягуючих світильником спричиняє наступні контрасти в обчислювальній точці:

$$C(38,3^\circ + 3,45^\circ; 161,5^\circ + 9,95^\circ) = C(41,75^\circ; 171,45^\circ) = 0,999$$

$$C(38,3^\circ + 3,45^\circ; 161,5^\circ - 9,95^\circ) = C(41,75^\circ; 151,55^\circ) = 1,000$$

$$C(38,3^\circ - 3,45^\circ; 161,5^\circ + 9,95^\circ) = C(34,85^\circ; 171,45^\circ) = 0,986$$

$$C(38,3^\circ - 3,45^\circ; 161,5^\circ - 9,95^\circ) = C(34,85^\circ; 151,55^\circ) = 0,970$$

Кожний із них лежить у межах 10 % контрасту, обчисленого в єдиній точці в центрі світильника так, що дискретизація світильника на декілька елементів не потрібна.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Levin R. E. The photometric connection / R. E. Levin // Part 1. Light. Des. Appl. – Vol. 12(9). – P. 28-35; Part 2. Light. Des. Appl. – Vol. 12(10). – P. 60-63; Part 3 Light. Des. Appl. – Vol. 12(11). – P. 42-47; Part 4 Light. Des. Appl. – Vol. 12(12). – P. 16-18.
2. Lambert J.H. Lamberts Photometrie: [Photometria, sive De mensura et gradibus luminus, colorum et umbrae] / J.H. Lambert, E. Anding. – Leipzig: W. Engelmann, 1892. – 433 p.
3. DiLaura D. L. On the computation of equivalent sphere illumination / D. L. DiLaura // Journal of Illum. Eng Society. – 1975. – Vol. 4(2). – P. 129-149.
4. Clear R. Estimation of linear interpolation error / R. Clear, S. Berman // Annual Illum. Eng Society. – 1988. – Vol. 18(2). – P. 32-39.
5. Cohen M.F. Radiosity and realistic image synthesis / M.F. Cohen, J.R. Wallace. – Boston: Academic Press Professional, 1993. – 381 p.
6. Sillion F. Radiosity and global illumination / F. Sillion, C. Puech. – San Francisco: Morgan Kaufmann, 1994. – 251 p.
7. Shirley P. Monte Carlo techniques for direct lighting calculations / P. Shirley, C. Wang, K. Zimmerman. – ACM Transactions on Computer Graphics, 1996. – 36 p.
8. Hamilton D. C. Radiant-interchange configuration factors / D. C. Hamilton, W. R. Morgan. – Washington: National Advisory Committee for Aeronautics. – NACA-TN-2836, 1952. – 111 p.
9. Siegel R. Thermal radiation heat transfer / R. Siegel, J. R. Howel. – 2nd edition. – New York: McGraw-Hill Book Co., 1980.
10. DiLaura D. L. Nondiffuse radiative transfer 2: Planar area sources and receivers / D. L. DiLaura // Journal of Illum. Eng Society. – 1996. – Vol. 25(2). – P. 140-149.
11. Santoro S. Calculating flux transferred accounting for intervening objects / S. Santoro. – University of Colorado, 1996. – 142 p.
12. General procedure for calculating maintained illumination. – Illum. Eng Society. – 1970. – Vol. 65(10). – P. 602-617.
13. Yamauti Z. Geometrical calculation of illumination due to light from luminous sources of simple forms / Z. Yamauti. – Tokyo: Electrotechnical Laboratory, 1924. – 148 p.
14. Fock V. Zur Berechnung der Beleuchtungsstärke / V. Fock // Phys. Z. – 1924. – Vol. 28. – P. 102-113.

15. Mistrick R.G. A study of near-field indirect lighting calculations / R. G. Mistrick, C. R. English // Journal of Illum. Eng Society. – 1990. – Vol. 19(2). – P. 103-112.
16. Levin R. E. Photometric characteristics of light controlling apparatus / R. E. Levin // Illum. Eng. – 1971. – Vol. 66(4). – P. 205-215.
17. Lautzenheiser T. Photometry for near-field applications / T. Lautzenheiser, G. Weller, S. Stannard // Journal of Illum. Eng Society. – 1984. – Vol. 13(2). – P. 262-269.
18. Stannard S. Application distance photometry / S. Stannard, J. Brass // Journal of Illum. Eng Society. – 1990. – Vol. 19(1). – P. 39-46.
19. P.Y. Ngai. Near-field photometry: Measurement and application for fluorescent luminaires / P.Y. Ngai, J. X. Zhang, // Journal of Illum. Eng Society. – 1992. – Vol. 21(2). – P. 68-83.
20. Yamauti Z. Theory of field of illumination / Z. Yamauti. – Tokyo: Electrotechnical Laboratory, 1932. – 339 p.
21. Gershun A. The light field / A. Gershun, P. Moon, G. J. Timoshenko // Journal of Mathematics and Physics. – 1939. – Vol. 18(2). – P. 51-151.
22. Ashdown I. Marking near-field photometry practical / I. Ashdown // Journal of Illum. Eng Society. – 1998. – Vol. 27(1). – P. 67-79.
23. Urena C. A formalization and classification of global illumination methods / C. Urena, X. Pueyo, J. C. Torres // Computer & Graphics. – 1997. – Vol. 21(2). – P. 225-236.
24. Murray-Coleman J.F. The automated measurement of BRDFs and their application to luminaire modeling / J.F. Murray-Coleman, A.M. Smith // Journal of Illum. Eng Society. – 1990. – Vol. 19(1). – P. 87-99.
25. Moon P. On interreflections / P. Moon // The Journal of the Optical Society of America. – 1940. – Vol. 30(5). – P. 195-205.
26. Moon P. Interreflections in rooms / P. Moon // The Journal of the Optical Society of America. – 1941. – Vol. 31(5). – P. 374-382.
27. The interreflection method of predetermining brightness and brightness ratios. – Illum. Eng Society. – 1946. – Vol. 41(5). – P. 361-385.
28. Moon P. Interreflections in coupled enclosures / P. Moon, D. E. Spencer // Journal of The Franklin Institute. – 1950. – Vol. 250(2). – P. 151-166.
29. O'Brien P.F. Interreflections in room by network method / P.F. O'Brien // The Journal of the Optical Society of America. – 1995. – Vol. 45(6). – P. 419-424.

30. O'Brien P.F. Predetermination of luminances by finite difference equations / P.F. O'Brien, J. A. Howard // *Illum. Eng.* – 1959. – Vol. 54(4). – P. 209-281.
31. O'Brien P.F. Lighting calculations for thirty-five thousand rooms / P.F. O'Brien // *Illum. Eng.* – 1995. – Vol. 55(4). – P. 215-226.
32. DiLaura D.L. On the simplification of radiative transfer calculations / D.L. DiLaura // *Journal of Illum. Eng Society.* – 1982. – Vol. 12(1). – P. 12-16.
33. DiLaura D.L. On the development of a recursive method for the solution of radiative transfer problems [abstract] / D.L. DiLaura // *Journal of Illum. Eng Society.* – 1982. – Vol. 21(2). – 115 p.
34. Mistrick R.G. A new finite orthogonal transform applied to radiative transfer calculations / R.G. Mistrick, D.L. DiLaura // *Journal of Illum. Eng Society.* – 1987. – Vol. 16(2). – P. 115-128.
35. Mistrick R.G. A priority based dual density finite element inreflected component calculation / R.G. Mistrick // *Journal of Illum. Eng Society.* – 1989. – Vol. 18(2). – P. 16-22.
36. Zhang J. X. Lighting calculations in a multi-partitioned space / J. X. Zhang, P.Y. Ngai // *Journal of Illum. Eng Society.* – 1991. – Vol. 20(1). – P. 32-43.
37. Ballman T. L. Illumination in partitioned spaces / T. L. Ballman, R. E. Levin // *Journal of Illum. Eng Society.* – 1987. – Vol. 16(2). – P. 31-49.
38. Ward G. J. A ray tracing solution for diffuse interreflection / G. J. Ward, F. M. Rubinstein // *Computer Graphics.* – 1988. – Vol. 22(4). – P. 85-92.
39. Larson G.W. Rendering with radiance: The art and science of lighting visualization / G.W. Larson, R.A. Shakespeare. – San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998. – 690 p.
40. Ashdown I. Radiosity: A programmer's perspective / I. Ashdown. – New York: John Wiley, 1994. – 496 p.
41. Murdoch J. B. Inverse square law approximation of illuminance / J. B. Murdoch // *Journal of Illum. Eng Society.* – 1981. – Vol. 10(2). – P. 96-106.
42. Ashdown I. Marking near-field photometry practical / I. Ashdown // *Journal of Illum. Eng Society.* – 1998. – Vol. 27(1). – P. 67-79.
43. Hageman L. A. Applied iterative methods / L. A. Hareman, D.M. Young. – New York: Academic Press, 1981. – 386 p.
44. O'Brien P. F. Configuration factors for computing illumination within interiors / P.F. O'Brien, E. Balogh *Illum. Eng.* – 1967. – Vol. 62(4). – P. 169-179.
45. Zonal-cavity methods of calculating and using coefficients of utilization. – *Illum. Eng Society.* – 1964. – Vol. 59(5). – P. 309-329.

46. Jones J. R. Using the zonal-cavity system in lighting calculations / J. R. Jones, B. F. Jones // Part 1. Illum. Eng. – Vol. 59(5). – P. 413-415; Part II. Illum. Eng. – Vol. 59(6). – P. 448-450; Part III. Illum. Eng. – Vol. 59(7). – P. 501-503; Part IV Illum. Eng. – Vol. 59(8). – P. 556-561.
47. The determination of illumination at a point in interior spaces. – Journal of Illum. Eng Society. – 1974. – Vol. 3(2). – P. 170-201.
48. Angular coordinate system and computing illumination at a point / J. R. Jones, R. C. LeVere, N. Ivanicki, P. Chesebourn. – Journal of Illum. Eng Society. – 1969. – Vol. 64(4). – P. 296-308.
49. The calculation of direct illumination from linear sources. – Illum. Eng Society (London). – 1968. – 46 p.
50. Burnham R. D. The illumination at a point from an industrial fluorescent luminaire / R. D. Burnham // Journal of Illum. Eng Society. – 1950. – Vol. 45(12). – P. 753-757.
51. Murdoch J. B. Extension of the configuration factor method to strip sources / J. B. Murdoch // Journal of Illum. Eng Society. – 1984. – Vol. 13(3). – P. 290-295.
52. General procedure for calculating maintained illumination. – Illum. Eng Society. – 1970. – Vol. 65(10). – P. 602-617.
53. Clark F. Accurate maintenance factors / F. Clark // Illum. Eng. – 1963. – Vol. 58(3). – P. 124-131.
54. Clark F. Light loss factor in the design process / F. Clark // Illum. Eng. – 1968. – Vol. 63(11). – P. 575-581.
55. Levin R. E. Fluorescent light loss factors / R. E. Levin // Light. Des. Appl. – 1985. – Vol. 15(11). – P. 44-47.
56. Methods of measurement of fluorescent lamp ballasts. – New York: ANSI C82.2. – 1995.
57. Specifier reports and Supplements: Electronic ballasts. – Troy, NY: National Lighting Product Information Program. – 1994-1997.
58. IES approved method for determining luminaire-lamp-ballast combination operating factors for high intensity discharge luminaires. – Illum. Eng. – 1970. – Vol. 65(12). – P. 718-721.
59. McNamara A. C. High wattage HID lamp fixture coordination: Vertical versus horizontal versus somewhere in between / A. C. McNamara, C. R. Snyder, J. T. Oliver // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1974. – Vol. 10(5). – P. 618-623.
60. Levin R. E. High-intensity discharge lamps and their environment / R. E. Levin, T. M. Lemons // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1971. – Vol. 7(2). – P. 218-224.

61. Luckiesh M. Brightness in visual field at borderline between comfort and discomfort (BCD) / M. Luckiesh, S. K. Guth // Illum. Eng. – 1949. – Vol. 59 (3). – P. 189-206.
62. Hopkinson R. G. Evaluation of glare / R. G. Hopkinson // Illum. Eng. – 1957. – Vol. 52(6). – P. 305-316
63. Guth S. K. A discomfort glare evaluator / S. K. Guth, J. F. McNelis // Illum. Eng. – 1959. – Vol. 54(6). – P. 398-406.
64. Guth S. K. Further data on discomfort glare from multiple sources / S. K. Guth, J. F. McNelis // Illum. Eng. – 1961. – Vol. 56(1). – P. 346-357.
65. Bradley R. D. A uniform method for computing the probability of comfort response in a visual field / R. D. Bradley, H. L. Logan // Illum. Eng. – 1964. – Vol. 59(3). – P. 189-206.
66. Guth S. K. A method for the evaluation of discomfort glare / S. K. Guth // Illum. Eng. – 1963. – Vol. 57(5). – P. 351-364.
67. Allphin W. Influence of sight line on BCD judgments of direct discomfort glare / W. Allphin // Illum. Eng. – 1966. – Vol. 61(10). – P. 629-633.
68. Allphin W. Further studies of sight line and direct discomfort glare / W. Allphin // Illum. Eng. – 1968. – Vol. 63(1). – P. 26-31.
69. Allphin W. BCD appraisals of luminaire brightness in simulated office / W. Allphin // Illum. Eng. – 1961. – Vol. 56(1). – P. 31-44.
70. Allphin W. Further appraisals of luminaire brightness / W. Allphin // Illum. Eng. – 1961. – Vol. 56(12). – P. 701-707.
71. Outline of a standard procedure for computing visual comfort ratios for interior lighting: Report №2. – Illum. Eng. – 1966. – Vol. 61(10). – P. 643-666.
72. Outline of a standart procedure for computing visual comfort ratings for interior lighting. – Journal of Illum. Eng Society. – 1973. – Vol. 2(3). – P. 328-344.
73. McGowan T. K. Extending and applying the IES visual comfort rating procedure / T. K. McGowan, S. K. Guth // Illum. Eng. – 1969. – Vol. 64(4). – P. 253-270.
74. A statement visual comfort probability (VCP): Naïve vs experienced observers. – Illum. Eng. – 1969. – Vol. 64(9). – 604 p.
75. Determination of average luminance of luminaires. – Journal of Illum. Eng Society. – 1972. – Vol. 1(2). – P. 181-184.
76. Outline of a standard procedure for computing visual comfort ratios for interior lighting: Report №2. – Illum. Eng. – 1966. – Vol. 61(10). – P. 643-666.
77. Determination of effective candlepower of modular and linear regressed systems. – Journal of Illum. Eng Society. – 1972. – Vol. 2(4). – P. 501-505.

78. Fry G. A. A simplified formula for discomfort glare / G. A. Fry // Journal of Illum. Eng Society. – 1976. – Vol. 8(1). – P. 10-20.
79. Levin R. E. Position index in VCP calculations / R. E. Levin // Journal of Illum. Eng Society. – 1975. – Vol. 4(2). – P. 99-105.
80. Levin R. E. An evaluation of VCP calculations / R. E. Levin // Journal of Illum. Eng Society. – 1973. – Vol. 2(4). – P. 355-361.
81. DiLaura D. L. On the computation of visual comfort probability / D. L. DiLaura // Journal of Illum. Eng Society. – 1976. – Vol. 5(4). – P. 207-217.
82. O'Brien P. F. Numerical analysis for lighting design / P. F. O'Brien // Journal of Illum. Eng Society. – 1965. – Vol. 60(4). – P. 169-173.
83. Calculation of luminance coefficients based upon the zonal-cavity method. – Illum. Eng. – 1968. – Vol. 63(8). – P. 423-432.
84. Recommended procedure for calculating coefficients of utilization, wall exitance coefficients, and ceiling cavity existence coefficients. – Journal of Illum. Eng Society. – 1982. – Vol. 12(1). – P. 3-11.
85. Recommended practice for classification of interior luminaires by distribution: Luminaire spacing criterion. – Light. Des. Appl. – 1977. – Vol. 7(8). – P. 20-21.

Навчальне видання

НАЗАРЕНКО Леонід Андрійович,
МОЖАРОВСЬКА Тетяна Василівна,
ЧЕРНЕЦЬ Віра Сергіївна

СВІТЛОТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Відповідальний за випуск *О. М. Ляшенко*
Редактор *О. М. Михаленко*
Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панової*
Дизайн обкладинки *Т. А. Лазуренко*

Підп. до друку 18.11.2015
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60×84/16
Ум. друк. арк. 5,6
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017